T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
COĞRAFYA ANABİLİM DALI

ARDIÇTEPE BARAJI HAVZASI'NDA (İVRİNDİ-BALIKESİR) KARŞILAŞTIRMALI EROZYON RİSK ANALİZİ

DOKTORA TEZİ

AYŞE SARIDURAN

BALIKESİR, 2026

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
COĞRAFYA ANABİLİM DALI

ARDIÇTEPE BARAJI HAVZASI'NDA (İVRİNDİ-BALIKESİR) KARŞILAŞTIRMALI EROZYON RİSK ANALİZİ

DOKTORA TEZİ

AYŞE SARIDURAN

TEZ DANIŞMANI

PROF. DR. ABDULLAH SOYKAN

BALIKESİR, 2026

PROJE DESTEK

“Ardıçtepe Barajı Havzası’nda (İvrindi-Balıkesir) Karşılaştırmalı Erozyon Risk Analizi” adlı bu doktora tez çalışması, Balıkesir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 2025/240 nolu proje ile desteklenmiştir. Sağlanan proje desteği, araştırmanın arazi çalışmaları, gerekli verilerin temini ve analiz süreçlerinin gerçekleştirilmesine önemli katkı sağlamış; çalışmanın kapsamlı bir şekilde yürütülmesine olanak tanımıştır.

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

TEZ ONAYI

Enstitümüzün Coğrafya Anabilim Dalı'nda 202212516002 numaralı Ayşe SARIDURAN hazırladığı "Ardıçtepe Barajı Havzası'nda (İvrindi-Balıkesir) Karşılaştırmalı Erozyon Risk Analizi" konulu DOKTORA tezi ile ilgili TEZ SAVUNMA SINAVI, Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği uyarınca 25.08.2026 tarihinde yapılmış, sorulan sorulara alınan cevaplar sonunda tezin onayına OY BİRLİĞİ ile karar verilmiştir.

Üye (Başkan) Prof. Dr. İsa CÜREBAL İmza

Üye (Danışman) Prof. Dr. Abdullah SOYKAN İmza

Üye Prof. Dr. Alaattin KIZILÇAOĞLU İmza

Üye Prof. Dr. Rüştü ILGAR İmza

Üye Prof. Dr. Emre ÖZŞAHİN İmza

Enstitü Onayı

ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Yazım Kuralları'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı ve
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.
- Yükseköğretim Kurulu tarafından 2024 yılında yayınlanan "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Faaliyetlerinde Üretken Yapay Zekâ Kullanımına Dair Etik Rehber" ve Üniversitemiz Sosyal Bilimler Enstitüsü Lisansüstü Çalışmalarda Üretken Yapay Zekâ Kullanımı: Etik İlkeler ve Uygulama Rehberi hakkında bilgi sahibiyim. Üretken yapay zekânın kullanılmasına ilişkin doğabilecek sorumluluklarımı kabul ettiğimi beyan ederim

25/08/2026

İmza

Ayşe SARIDURAN

ÖNSÖZ

"Ardıçtepe Barajı Havzası'nda (İvrindi-Balıkesir) Karşılaştırmalı Erozyon Risk Analizi" adlı bu doktora tezi, doğal kaynakların sürdürülebilirliği açısından günümüzün en önemli çevresel sorunlarından biri olarak kabul gören erozyonun, havza ölçeğinde çok boyutlu bir bakış açısıyla değerlendirilmesi amacıyla hazırlanmıştır. Türkiye'de MPSIAC yöntemiyle gerçekleştirilen çalışmaların sayısının sınırlı olması ve bu çalışmaların çoğunlukla yalnızca erozyon tehlikesini ortaya koyması, bu araştırmanın temel motivasyonunu oluşturmuştur. Bu tez kapsamında MPSIAC ve RUSLE yöntemleri karşılaştırmalı olarak uygulanmış; kapsamlı arazi çalışmaları, laboratuvar analizleri ve coğrafi bilgi sistemleri destekli alansal analizler bir araya getirilerek erozyon tehlikesi, zarar görebilirlik ve erozyon riski bütünleşik bir yaklaşımla değerlendirilmiştir.

Doktora eğitimim boyunca bilgi ve deneyimlerini büyük bir özveriyle benimle paylaşan, bilimsel bakış açımı geliştirmemde yol gösteren, araştırmanın her aşamasında değerli önerileri, yapıcı eleştirileri ve teşvik edici yaklaşımıyla bana daima destek olan, akademik gelişimime olduğu kadar kişisel gelişimime de önemli katkılar sağlayan kıymetli danışmanım Sayın Prof. Dr. Abdullah SOYKAN'a en içten teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım. Doktora çalışmam süresince özellikle Coğrafi Bilgi Sistemleri ve ArcGIS uygulamaları konusundaki engin bilgi birikiminden yararlandığım, karşılaştığım teknik sorunların çözümünde yol gösterici yaklaşımı ve değerli önerileriyle tezimin bilimsel niteliğinin güçlenmesinde önemli rol oynayan Sayın Prof. Dr. İsa CÜREBAL'a içten teşekkürlerimi sunarım. Tez İzleme Komitesi üyem Sayın Prof. Dr. Emre ÖZŞAHİN'e, doktora çalışmam boyunca değerli görüş ve önerileriyle araştırmama yön verdiği, özellikle erozyon çalışmaları konusundaki bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşarak arazi ölçümleri ve tezimin bilimsel kurgusunun oluşturulması sürecinde sağladığı kıymetli katkılar için en içten teşekkürlerimi sunarım. Tez metnimin bilimsel açıdan daha nitelikli ve kusursuz bir hâle gelmesi için büyük bir titizlikle değerlendirmelerde bulunan, değerli görüş ve önerileriyle çalışmama önemli katkılar sağlayan Sayın Prof. Dr. Alaattin KIZILÇAOĞLU'na; MPSIAC yöntemini öğrenmemde bana yol gösteren, bilgi ve deneyimlerini her zaman büyük bir içtenlikle paylaşan ve ihtiyaç duyduğum her anda desteğini esirgemeyen

Sayın Dr. Öğr. Üyesi Murat FIÇICI'ya; tez çalışmamın değerlendirilmesi sürecinde değerli görüş ve önerileriyle çalışmama katkı sağlayan Sayın Prof. Dr. Rüştü ILGAR'a; araştırmam kapsamında ihtiyaç duyduğum verilerin temin edilmesindeki değerli katkıları için Sayın Doç. Dr. Mesut ŞİMŞEK'e; bu tez kapsamında gerçekleştirilen laboratuvar analizlerinin yürütülmesindeki değerli katkıları ve destekleri için Sayın Doç. Dr. Sevda ALTUNBAŞ'a; arazi çalışmalarım süresince desteklerini esirgemeyen Sayın Arş. Gör. Dr. Melike DURAK ile Sayın Uzm. Furkan İNAN'a katkıları ve destekleri için içtenlikle teşekkür ederim.

Bu araştırmanın yürütülmesi sürecinde sağladıkları maddi, teknik ve kurumsal destekler dolayısıyla Balıkesir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (Proje No: 2025/240); arazi çalışmaları ve kurum verilerinin temin edilmesinde katkı sağlayan İvrindi Orman İşletme Müdürlüğü İşletme Müdürü Mustafa SİMSAR'a; Balıkesir Tarım ve Orman İl Müdürlüğü Şube Müdürü Mehmet Akif AŞÇIOĞLU'na ve Çayır, Mera ve Yem Bitkileri Şube Müdürlüğü Yüksek Ziraat Mühendisi Erhan DOĞRAMA'ya; Balıkesir Orman Bölge Müdürlüğü Ağaçlandırma Şube Müdürü Mustafa Kemal ERDOĞAN'a ve Orman Mühendisi Doğan TOSYALI'ya; Devlet Su İşleri 25. Bölge Müdürlüğü Hidroloji Başmühendisi Mehmet Ali AYDIN'a, Bilgi Teknolojileri Şube Müdürlüğü Harita Mühendisi Kurtuluş KAYA'ya ve Havza Yönetimi Harita Başmühendisi Ali Köksal PEHLİVAN'a sağladıkları değerli katkılar için teşekkür ederim. Ayrıca doktora çalışmam boyunca yararlandığım çok sayıda bilimsel kitaba erişim sağlayabilmem amacıyla Dijital Tarım Kütüphanesi kullanım olanağını sunan T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Eğitim ve Yayın Dairesi Başkanlığı'na içten teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her döneminde sevgileri, emekleri, fedakârlıkları ve sarsılmaz destekleriyle yanımda olan; bugünlere ulaşmamda en büyük paya sahip olan canım annem Kifayet SARIDURAN'a, her zaman varlığını ve sevgisini yüreğimde hissettiğim, bana dürüstlüğü, çalışkanlığı ve azmi öğreten kıymetli babam, merhum Ahmet SARIDURAN'a ve desteğini, sevgisini ve güvenini hiçbir zaman eksik etmeyen değerli kardeşim Gökhan SARIDURAN'a sonsuz sevgilerimi, minnetimi ve teşekkürlerimi sunarım. Bu çalışmanın tamamlanmasında yalnızca akademik değil, aynı zamanda manevi güç kaynağım olan ailemin katkısı tarif edilemez. İyi ki varsınız.

BALIKESİR, 2026 **AYŞE SARIDURAN**

ÖZET

ARDIÇTEPE BARAJI HAVZASI'NDA (İVRİNDİ-BALIKESİR) KARŞILAŞTIRMALI EROZYON RİSK ANALİZİ

SARIDURAN, Ayşe
Doktora, Coğrafya Anabilim Dalı
Tez Danışmanı: Prof. Dr. Abdullah SOYKAN
2026, 314 Sayfa

Erozyon, doğal kaynakların sürdürülebilirliği ve baraj havzalarının işletme ömrü açısından önemli çevresel sorunlardan biridir. Bu çalışmada, Balıkesir ili İvrindi ilçesinde yer alan Ardıçtepe Barajı Havzası'nın erozyon tehlikesi, zarar görebilirliği ve erozyon riski Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmiştir. Araştırmada erozyon tehlikesinin belirlenmesinde MPSIAC ve RUSLE modelleri karşılaştırmalı olarak uygulanmış; arazi çalışmaları, erozyon çubukları, laboratuvar analizleri, uzaktan algılama verileri, sayısal yükseklik modeli ve çok zamanlı batimetrik ölçümlerden yararlanılmıştır. Elde edilen tehlike haritaları zarar görebilirlik analizi ile bütünleştirilerek erozyon risk haritaları oluşturulmuş ve model sonuçları sediment verimi ile rezervuar ömrü açısından karşılaştırılmıştır.

Bulgular, her iki modelin yüksek riskli alanları benzer topoğrafik koşullarda belirlemesine karşın, MPSIAC modelinin orta ve yüksek risk sınıflarını daha geniş alanlarda tanımladığını göstermiştir. MPSIAC modeline göre yıllık sediment verimi 117.651 ton, RUSLE modeline göre ise SİO (Sediment İletim Oranı) yaklaşımıyla 14.820,48 ton olarak hesaplanmıştır. Batimetrik analizler Ardıçtepe Barajı'nın tahmini fonksiyonel ömrünü 54 yıl olarak ortaya koyarken, MPSIAC modeli 45 yıl, RUSLE modeli ise 355 yıl öngörmüştür. Bu sonuçlar, MPSIAC modelinin batimetrik verilere daha yakın sonuçlar üreterek havzadaki sediment üretim süreçlerini daha gerçekçi temsil ettiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Ardıçtepe Barajı Havzası, Erozyon Riski, MPSIAC (Modified Pacific Southwest Inter Agency Committee), RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation), Batimetrik Analiz.

ABSTRACT

COMPARATIVE EROSION RISK ANALYSIS IN ARDIÇTEPE DAM BASIN (İVRİNDİ – BALIKESİR)

SARIDURAN, Ayşe
PhD Thesis, Department of Geography
Thesis Advisor: Prof. Dr. Abdullah SOYKAN
2026, 314 Pages

Soil erosion is one of the major environmental problems threatening the sustainability of natural resources and reducing the operational lifespan of reservoirs. This study presents a comprehensive assessment of erosion hazard, vulnerability, and erosion risk in the Ardıçtepe Dam Basin (İvrindi, Balıkesir, Türkiye) using a Geographic Information Systems (GIS)-based integrated approach. The MPSIAC and RUSLE models were comparatively applied to estimate erosion hazard. Field observations, erosion pin measurements, laboratory analyses, remote sensing data, digital elevation models, and multi-temporal bathymetric surveys were employed to generate the required datasets. The resulting erosion hazard maps were integrated with vulnerability analysis to produce erosion risk maps and the model outputs were further evaluated in terms of sediment yield and reservoir lifespan.

The findings revealed that although both models identified similar spatial patterns of high-risk areas, the MPSIAC model predicted a wider distribution of moderate and high erosion risk classes. The annual sediment yield was estimated as 117,651 tons using the MPSIAC model and 14,820.48 tons using the RUSLE model combined with the Sediment Delivery Ratio (SDR) approach. Bathymetric analyses indicated an estimated functional lifespan of 54 years for the Ardıçtepe Dam Reservoir, whereas the MPSIAC and RUSLE models predicted reservoir lifespans of 45 and 355 years, respectively. These findings demonstrate that the MPSIAC model provides results that are more consistent with bathymetric observations and better represents sediment production processes within the basin.

Keywords: Ardıçtepe Dam Basin, Erosion Risk, MPSIAC (Modified Pacific Southwest Inter Agency Committee), RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation), Bathymetric Analysis.

Değerli Aileme…

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ iii
ÖZET v
ABSTRACT vi
İÇİNDEKİLER ix
TABLOLAR LİSTESİ xiv
ŞEKİLLER LİSTESİ xvii
KISALTMALAR xxii
SİMGELER xxiv
1. GİRİŞ 1
1.1. Araştırmanın Problemi 5
1.2. Araştırmanın Amacı 6
1.3. Araştırmanın Önemi 7
1.4. Araştırmanın Varsayımları 9
1.5. Araştırmanın Sınırlılıkları 9
1.6. Tanımlar 10
2. KURAMSAL ÇERÇEVE VE İLGİLİ ARAŞTIRMALAR 19
2.1. Erozyon İle İlgili Çalışmalar 19
2.2. Çalışma Alanını Kapsayan Çalışmalar 31
3. YÖNTEM 46
3.1. Tehlike Analizi 46
3.1.1. MPSIAC Yöntemi Uygulama Aşamaları 47
3.1.1.1. Anakaya Faktörü (X_1) Uygulama Aşamaları 49
3.1.1.2. Toprak Erodibilite (X_2) Faktörü Uygulama Aşamaları 52
3.1.1.3. Yağış Erozyon (X_3) Faktörü Uygulama Aşamaları 54
3.1.1.4. Akım - Debi (X_4) Faktörü Uygulama Aşamaları 55
3.1.1.5. Eğim / Topoğrafya (X_5) Faktörü Uygulama Aşamaları 59
3.1.1.6. Arazi Yüzey Kapalılık (X_6) Faktörü Uygulama Aşamaları 60
3.1.1.7. Arazi Örtüsü ve Kullanımı (X_7) Faktörü Uygulama Aşamaları 60
3.1.1.8. Yüzey Erozyon (X_8) Faktörü Uygulama Aşamaları 61
3.1.1.9. Kanal (Oyuntu) Erozyon (X_9) Faktörü Uygulama Aşamaları 62
3.1.2. RUSLE Yöntemi Uygulama Aşamaları 63

3.1.2.1. Yağış Erozif (R) Faktörü Uygulama Aşamaları 64
3.1.2.2. Toprak Erodibilite (K) Faktörü Uygulama Aşamaları..... 65
3.1.2.3. Yamaç Eğim Uzunluğu (L) ve Eğim Derecesi (S) Faktörü Uygulama Aşamaları 66
3.1.2.4. Arazi Örtüsü (C) Faktörü Uygulama Aşamaları..... 67
3.1.2.5. Erozyon Koruma Uygulamaları (P) Faktörünün Uygulama Aşamaları 68
3.1.3. Çubuk Yöntemi Uygulama Aşamaları 69
3.2. Zarar Görebilirlik Analizi..... 70
3.2.1. Ardıçtepe Barajı'nın Zarar Görebilirliğinin Uygulama Aşamaları 71
3.2.1.1. Hacim Azalımı Temelli Yaklaşım..... 72
3.2.1.2. Sediment İletim Oranı (SİO) Yaklaşımı 72
3.2.1.3. Havza Bazlı Erozyon Tahmin Modelleri (RUSLE ve MPSIAC)..... 72
3.2.2. Ardıçtepe Baraj Havzası'nın Zarar Görebilirliğinin Uygulama Aşamaları 73
3.3. Risk Analizi..... 75
4. BULGULAR VE YORUMLAR..... 76
4.1. Tehlike Analizi 76
4.1.1. MPSIAC Tehlike Analizi 78
4.1.1.1. Anakaya (X_1) Faktörü 79
4.1.1.1.1. Havzadaki Litolojik Birimlerin Dağılımı ve Özellikleri..... 80
4.1.1.1.1.1. Permiyen Yaşlı Kireçtaşı Birimleri 85
4.1.1.1.1.2. Üst Permiyen Yaşlı Kireçtaşı (Çamoba Formasyonu) Birlikleri 85
4.1.1.1.1.3. Alt Triyas Yaşlı Metavolkanitler (Kınık Formasyonu)..... 86
4.1.1.1.1.4. Alt Triyas Yaşlı Metamorfik Şistler (Çavdartepe Formasyonu) 87
4.1.1.1.1.5. Alt Triyas Yaşlı Metakırıntılı Kaya (Kocaçukur Üyesi)..... 89
4.1.1.1.1.6. Triyas Yaşlı Metavolkanitler (Karakaya Formasyonu) 90
4.1.1.1.1.7. Eosen-Oligosen Yaşlı Granodiyorit (Kozak Granodiyoriti) 93
4.1.1.1.1.8. Alt Miyosen Yaşlı Andezit – Tüf..... 95
4.1.1.1.1.9. Alt Miyosen Yaşlı Kumtaşı – Çamurtaşı – Kireçtaşı (Soma Formasyonu) 98
4.1.1.1.1.10. Üst Miyosen–Pliyosen Yaşlı Andezit – Tüf (Yuntdağ Volkanitleri) Birimleri 100
4.1.1.1.1.11. Üst Miyosen-Pliyosen Yaşlı Aglomera Birimleri 102
4.1.1.1.1.12. Üst Miyosen-Pliyosen Yaşlı Gölsel Kireçtaşı (Soma Formasyonu) Birimleri..... 104
4.1.1.1.2. Yapısal Özellikler ve Jeolojik Evrim..... 106

4.1.1.1.3. Havzadaki Litolojik Birimlerin Sertlik ve Alterasyon Durumu 107
4.1.1.1.3.1. Yaz Dönemi Sertlik ve Alterasyon Durumu 113
4.1.1.1.3.2. Kış Dönemi Sertlik ve Günlenme (Alterasyon) Durumu .. 128
4.1.1.1.3.3. Sertlik ve Günlenme (Alterasyon) Durumunda Yıllık Ortalama 143
4.1.1.1.4. Havzada Yer Alan Ana Kayaç Gruplarının Diğer Faktörler ile İlişkisi 152
4.1.1.1.4.1. Ana Kayaç Gruplarının Yağış Erozyon Faktörüne Göre Dağılımı 152
4.1.1.1.4.2. Ana Kayaç Gruplarının Yükselti Kademelerine Göre Dağılımı 155
4.1.1.1.4.3. Ana Kayaç Gruplarının Eğim Gruplarına Dağılımı 158
4.1.1.2. Toprak Aşınabilirlik (Eroadibilite) (X_2) Faktörü 161
4.1.1.2.1. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın Toprak Özellikleri 162
4.1.1.2.2. Numunelerin Konumlandırılması ve Laboratuvar Analizleri .. 166
4.1.1.2.3. Büyük Toprak Gruplarının Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri .. 168
4.1.1.2.4. MPSIAC Toprak Faktörü (X_2) 170
4.1.1.3. Yağış Erozyon (X_3) Faktörü 179
4.1.1.3.1. Uzun Yıllar Yağış Verileri 180
4.1.1.3.2. MPSIAC Yağış Faktörü Hesaplaması 182
4.1.1.4. Akım / Debi (X_4) Faktörü 184
4.1.1.4.1. Ardıçtepe Barajı Havzası Akarsularının Morfometrik Özellikleri 185
4.1.1.4.1.1. Havza Akarsu Ağının Çizgisel Morfometrik Özellikleri .. 188
4.1.1.4.1.1.1. Çatallanma Durumu (R_b) 189
4.1.1.4.1.1.2. Yüzeysel Akış Uzunluğu (L_o) 191
4.1.1.4.1.1.3. Dağ Önü Sinüsite (Smf) İndeksi 192
4.1.1.4.1.1.4. Tekstür Oranı (T) 195
4.1.1.4.1.1.5. Drenaj Tekstür Oranı (R_t) 196
4.1.1.4.1.2. Havzanın Alansal Morfometrik Yapısı 197
4.1.1.4.1.2.1. Drenaj Yoğunluğu (D_d) 198
4.1.1.4.1.2.2. Akarsu / Drenaj Sıklığı (F_s) 200
4.1.1.4.1.2.3. Havza Şekli (R_F) 202
4.1.1.4.1.2.4. Lemniskat / Kelebek Eğrisi Oranı (K) 204
4.1.1.4.1.2.5. Gravelius İndeksi (K_g) 205
4.1.1.4.1.2.6. Asimetri Faktörü (AF) 206
4.1.1.4.1.3. Havzanın Rölyef ve Yükseltiye Dayalı Morfometrik Analizi 207

4.1.1.4.1.3.1. Havza Rölyef (B_h) 208
4.1.1.4.1.3.2. Rölyef Oranı (R_h) 209
4.1.1.4.1.3.3. Engebelilik Değeri (R_n) 210
4.1.1.4.1.3.4. V_f İndeksi 211
4.1.1.4.1.3.5. Yükselti Frekans Histogramı 213
4.1.1.4.1.3.6. Hipsometrik Eğri (H_c) 217
4.1.1.4.1.3.7. Hipsometrik İntegral (H_i) 220
4.1.1.4.1.4. Erozyon ve Havza Karakteri Genel Değerlendirmesi 221
4.1.1.4.2. MPSIAC Akım (Drenaj Yoğunluğu) Faktörü 222
4.1.1.5. Topoğrafya (X_5) Faktörü 224
4.1.1.5.1. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın Jeomorfolojik Özellikleri 224
4.1.1.5.2. MPSIAC Yöntemine Göre Topoğrafya Faktörünün (X_5) Belirlenmesi 231
4.1.1.6. Arazi Yüzey Kapalılık (X_6) Faktörü 234
4.1.1.7. Arazi Örtüsü ve Kullanımı Faktörü (X_7) 239
4.1.1.8. Yüzey Erozyon Faktörü (X_8) 244
4.1.1.8.1. Bileşik Topografik İndeks (Compound Topography Index) 244
4.1.1.8.2. MPSIAC Yüzey Erozyon Faktörünün Hesaplanması 246
4.1.1.9. Oyuntu Erozyon (X_9) Faktörü 247
4.1.1.9.1. Akış Gücü İndeksi (Stream Power Index) 248
4.1.1.9.2. MPSIAC Oyuntu Erozyon Faktörünün Hesaplanması 251
4.1.2. RUSLE Tehlike Analizi 253
4.1.2.1. Yağış Faktörü (R) 254
4.1.2.2. Toprak Faktörü (K) 261
4.1.2.3. Arazi Kullanım Faktörü (C) 262
4.1.2.4. Eğim Uzunluğu ve Eğim Dikliği Faktörü (LS) 263
4.1.2.5. Toprak Koruma Faktörü (P) 265
4.1.3. Arazi Gözlemleri ve Erozyon Ölçüm Çubuklarının Değerlendirilmesi 266
4.2. Zarar Görebilirlik Analizi 270
4.2.1. Ardıçtepe Barajı'nın Hidro-Teknik Karakteristikleri ve İşletme Parametreleri 271
4.2.2. Rezervuar Kapasite Kaybı ve Sedimantasyon Analizi 275
4.2.2.1. Havza Bazlı Erozyon ve Sediman Verimi Modellemesi 276
4.2.2.1.1. MPSIAC Modeli 277
4.2.2.1.2. RUSLE Modeli 278
4.2.2.2. Çok Zamanlı Batimetrik Verilerle Kapasite Değişiminin Belirlenmesi 279

4.2.3. Baraj Havzasının Erozyon Kaynaklı Çevresel Zarar Görebilirlik Analizi ve Alansal Sentezi 282
4.2.4. Farklı Metotlara Göre Rezervuar Kapasite Kaybı ve Baraj Ömrü Hesaplamaları 283
4.2.4.1. Hacim Azalımı Temelli Yaklaşıma Göre Baraj Ömrü Analizi 284
4.2.4.2. MPSIAC Sediment Verimi Modeline Göre Baraj Ömrü Analizi 286
4.2.4.3. RUSLE Sediment Verimi Modeline Göre Baraj Ömrü Analizi 287
4.3. Erozyon Risk Analizi 287
4.3.1. MPSIAC Tabanlı Risk Analizi 287
4.3.2. RUSLE Tabanlı Risk Analizi 288
5. SONUÇ VE ÖNERİLER 290
5.1. Sonuçlar 290
5.1.1. MPSIAC ve RUSLE Modellerine Göre Erozyon Tehlikesinin Karşılaştırılması 290
5.1.2. MPSIAC ve RUSLE Tabanlı Erozyon Riskinin Karşılaştırılması 295
5.1.3. Ardıçtepe Barajı'nın Sedimentasyon Süreci ve Tahmini İşletme Ömrünün Değerlendirilmesi 297
5.1.4. Ardıçtepe Barajı Havzası Bulgularının Madra Barajı Havzası Çalışması ile Karşılaştırılması 299
5.2. Öneriler 301
KAYNAKÇA 303

TABLOLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1. MPSIAC Modeli Üzerinde Erozyon Etki Faktörleri ve Hesaplaması 48

Tablo 2. Litolojik Birimlerin Kapladıkları Alan ile İstasyon Sayısına Oranı 50

Tablo 3. Çalışma Alanında Hesaplanan Çizgisel Morfometri İndisleri ve Erozyon ile İlişkisi 57

Tablo 4. Çalışma Alanında Hesaplanan Alansal Morfometri İndisleri ve Erozyon ile İlişkisi 57

Tablo 5. Çalışma Alanında Hesaplanan Rölyef Morfometri İndisleri ve Erozyon ile İlişkisi 58

Tablo 6. Havzadaki Litolojik Birimler ve Potansiyel Erozyon Durumları 80

Tablo 7. Ardıçtepe Barajı Havzası Ana Kayaç Gruplarının Dağılımı 84

Tablo 8. Schmidt Çekici Geri Darbe Sayısına Göre Kaya Sınıflaması 110

Tablo 9. Alterasyon Hesaplamasında Kullanılan Formüller ve Açıklaması 112

Tablo 10. Literatürde Önerilen Sınıflandırmalara Göre Schmidt Index ile Alterasyon (Ayrışma) Derecelerinin Sınıflandırılması 112

Tablo 11. Kayaç Alterasyonu İçin Nitel Sınıflama 113

Tablo 12. Ardıçtepe Barajı Havzası Ana Kayaç Gruplarına Ait İstasyonların Yaz Dönemi Kayaç Dayanım Katsayıları ve Alterasyon Durumu 114

Tablo 13. De Beer, 1967 (Tarhan, 2002) Temelli Schmidt Geri Darbe Sayısına Göre Kaya Sınıflaması 118

Tablo 14. Selby (1993)'e Göre Schmidt İndeks ile Alterasyon (Ayrışma) Derecelerinin Sınıflandırılması 120

Tablo 15. ISRM (2007)'e Göre Schmidt İndeks ile Alterasyon (Ayrışma) Derecelerinin Sınıflandırılması 123

Tablo 16. Ardıçtepe Barajı Havzası Ana Kayaç Gruplarına Ait İstasyonların Kış Dönemi Kayaç Dayanım Katsayıları ve Alterasyon Durumu 131

Tablo 17. De Beer, 1967 (Tarhan, 2002) Temelli Schmidt Geri Darbe Sayısına Göre Kaya Sınıflaması 134

Tablo 18. Selby (1993)'e Göre Schmidt İndeks ile Alterasyon (Ayrışma) Derecelerinin Sınıflandırılması 136

Tablo 19. ISRM (2007)'e Göre Schmidt İndeks ile Alterasyon (Ayrışma) Derecelerinin Sınıflandırılması 138

Tablo 20. Ardıçtepe Barajı Havzası'nda Ana Kayaç Gruplarına Ait İstasyonların Kayaç Dayanım Katsayıları 145

Tablo 21. Ardıçtepe Barajı Havzası'nda Ana Kayaç Gruplarına Ait İstasyonların Alterasyon Durumu 147

Tablo 22. Ana Kayaç Gruplarının Yağış Erozyon Faktörüne Göre Dağılımı (ton/ha/yıl) 154

Tablo 23. Ana Kayaç Gruplarının Yükselti Kademelerine Göre Alansal Dağılımı (ha) 156

Tablo 24. Ana Kayaçların Eğim Gruplarına Göre Alansal Dağılımı (ha) 159

Tablo 25. Ardıçtepe Barajı Havzası'nda Yer Alan Büyük Toprak Grupları ve Kapladıkları Alanlar 164

Tablo 26. Ardıçtepe Barajı Havzası'ndaki Büyük Toprak Gruplarına Ait Fiziksel ve Kimyasal Analiz Sonuçları 167

Tablo 27. M / Partikül Boyutu Değerinin Bulunması 171

Tablo 28. Foster Eşitliği'nde Yer Alan İlk Köşeli Parantezin Hesaplanması 171

Tablo 29. Büyük Toprak Grupları ve Strüktür Özellikleri 172

Tablo 30. Foster Eşitliği'nde Yer Alan İkinci Köşeli Parantezin Hesaplanması 173

Tablo 31. Foster Eşitliği'nde Yer Alan Üçüncü Köşeli Parantezin Hesaplanması ... 174

Tablo 32. Eşitlikte Yer Alan Tüm Değerlerin Toplanarak K Faktörünün Hesaplanması 174

Tablo 33. Foster ve MPSIAC K Faktör Değerleri 177

Tablo 34. İvrindi Meteoroloji İstasyonu Aylık Ortalama Yağış Verileri (8 Yıl) 180

Tablo 35. Baraj Havzasında Akarsuların Morfometrisinde Kullanılan Çizgisel Eşitlikler 186

Tablo 36. Baraj Havzasında Akarsuların Morfometrisinde Kullanılan Alansal Eşitlikler 187

Tablo 37. Baraj Havzasında Akarsuların Morfometrisinde Kullanılan Rölyef Eşitlikleri 187

Tablo 38. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın Çatallanma Özellikleri 190

Tablo 39. Drenaj Tekstür Oranı (Rt) Sınıflandırması 197

Tablo 40. Ardıçtepe Barajı Havzası'nda Yükselti Basamaklarının Alansal Dağılımı 215

Tablo 41. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın Hipsometrik Eğri Verileri 218

Tablo 42. Ardıçtepe Barajı Havzası Yüzey Kapalılık Oranları Dağılımı 236

Tablo 43. Ardıçtepe Barajı Havzası Arazi Örtüsü ve Kullanımı Dağılım Oranları . 242

Tablo 44. İvrindi Meteoroloji İstasyonu – Aylık Ortalama Yağış Verileri (Yükselti: 240 m) (2014 – 2022) 255

Tablo 45. Aylık Ortalama Yağış Değerlerinin Karelerinin Alınması (İlk 7 Ay) 255

Tablo 46. Aylık Ortalama Yağış Değerlerinin Karelerinin Alınması (Son 5 Ay ve Genel Toplamlar) 257

Tablo 47. Yükselti Basamaklarına Göre Hesaplanan R Faktörü Değerleri 258

Tablo 48. Çalışma Havzasındaki Toprak Koruma Uygulamaları ve P Faktörü Katsayıları 266

Tablo 49. Araziye Yerleştirilen Erozyon Çubuklarında Gözlenen Değişimler ve Bulunduğu Noktaların Coğrafi Özellikleri..... 269

Tablo 50. Ardıçtepe Barajı Rezervuarına Ait Temel Hidro-Teknik Karakteristikler ve İşletme Parametreleri (DSİ, 2015) 271

Tablo 51. MPSIAC (R) Modeline Ait Temel Sonuçlar..... 278

Tablo 52. Ardıçtepe Barajı Havzası'nda MPSIAC ve RUSLE Modellerine Göre Erozyon Tehlike Sınıflarının Alansal Dağılımı 294

Tablo 53. Ardıçtepe Barajı Havzası'nda MPSIAC ve RUSLE Modellerine Göre Tahmin Edilen Yıllık Sediment Veriminin Karşılaştırılması 295

Tablo 54. Ardıçtepe Barajı Havzası'nda MPSIAC ve RUSLE Tabanlı Erozyon Risk Sınıflarının Alansal Dağılımı 297

Tablo 55. Uygulanan Yöntemlere Göre Yıllık Sediment Taşınımı ve Öngörülen Baraj Ömürlerinin Karşılaştırılması 298

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın Lokasyon Haritası 2

Şekil 2. Schmidt Çekici ile Ölçüm Yapılan Noktalar..... 51

Şekil 3. Her Ölçüm İstasyonunda, Schmidt Çekici ile Yapılacak Vuruşlara Hazırlık Aşamasında, Kaya Yüzeyinde En Uygun Olan Pürüzsüz ve Çatlak İçermeyen Alanlar Tespit Edilmiştir. Ölçümün Standart Hale Getirilmesi ve Yüzey Değişkenliğinin Minimize Edilmesi Amacıyla, Belirlenen Alanlar 9 Eşit Kareye Bölünmüş ve Her Karede Birer Vuruş Olacak Şekilde Toplamda 9 Vuruş Gerçekleştirilmiştir. 52

Şekil 4. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın Pafta Taksimatı Haritası..... 56

Şekil 5. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın Jeoloji Haritası 83

Şekil 6. Fotoğrafta Görülen Alan, Kule Tepe'nin Kuzeybatısında Yer Alan Çavdarlık Tepe'deki Schmidt Sertlik Ölçümüne Göre 1. İstasyon Olup, Permiyen-Triyas Dönemine Ait Metakırıntılı Kayaçlar ve Üzerini Örten Kahverengi Orman Toprakları ile Temsil Edilmektedir. 91

Şekil 7. Fotoğrafta Yer Alan Saha, Yeşilgölcük Tepe'nin Güneyinde, Yaylamezarı–Gümeli Yol Ayrımında Bulunmakta Olup Permiyen-Triyas Dönemine Ait Metakırıntılı Kayaçlar ve Kireçsiz Kahverengi Orman Toprakları ile Temsil Edilmektedir. 92

Şekil 8. Gümeli'nin Güney Batısındaki (6. İstasyon) Miyosen'e Ait Andezit – Tüf Üzerinde Kireçsiz Kahverengi Orman Toprakları. Bu Tür Volkanik Kökenli Ana Kayaçlar (Özellikle Tüf), Zamanla Kolayca Ayrışabilen ve Fiziksel-Kimyasal Yolla Dağılabilen Bir Yapıya Sahiptir. 96

Şekil 9. Küçükılıca'nın Güneyi ve Ballıbölük Tepe'nin Kuzeyindeki (10. İstasyon – Ortalama Sertlik 33,67) Miyosen'e Ait Andezit – Tüf. Görseldeki Kayaç Yapısı, Genel Olarak Sağlam ve Kompakt Bir Andezit Görünümünde Olsa da Yüzeyde Belirgin Çatlaklar ve Fiziksel Ayrışma İzleri Mevcuttur..... 97

Şekil 10. Fotoğrafta Yer Alan Saha, Gümeli Yerleşim Birimine Yaklaşık 1,6 Kilometre Mesafede Bulunmakta Olup, Permiyen-Triyas Dönemine Ait Çakıltaşı-Kumtaşı-Çamurtaşı Ardalanmasından Oluşmaktadır. Schmidt Sertlik Ölçümüne Göre 4 Numara ile Tanımlanan Bu Nokta, 20 ile 40 Derece Arasında Değişen Eğim Değerlerine Sahip Olduğu İçin Dik Yamaç Karakteri Göstermektedir. 101

Şekil 11. Fotoğrafta Yer Alan Saha, Haydar Yerleşim Biriminin Kuzeybatısında Bulunmakta Olup, Üst Miyosen – Pliyosen Dönemine Ait Aglomeratik Kayaçlar Üzerinde Gelişmiş Kireçsiz Kahverengi Orman Topraklarıyla Kaplıdır. 103

Şekil 12. Fotoğrafta Yer Alan Saha, Mallıca Yerleşim Biriminin Güneybatısında Bulunmakta Olup Neojen Dönemine Ait Gölsel Depolarda Gelişmiş Kumtaşı, Çamurtaşı ve Kireçtaşı Ardalanmasıyla Karakterizedir. 105

Şekil 13. Kule Tepe'nin Kuzey Batısında Yer Alan Bu Noktada, Permiyen-Triyas Yaşlı Metakırıntılı Kayaçlar ve Kahverengi Orman Toprakları Gözlemlenmektedir. Eğim

20–40 Derece Aralığında Olup, Alanda Belirgin Bir Şekilde Fiziksel Ayrışma ve Tabakalanma Boyunca Parçalanma Dikkat Çekmektedir. 109

Şekil 14. Yaz Dönemi Verilerine Göre Doğrusal Korelasyon Analizi. Ölçülen Yüzey Sertliği Değerleri ile Literatürde Belirtilen Maksimum Taze Sertlik Değerleri Karşılaştırılarak AI Hesaplanmıştır. Grafik, Kayaç Sertliğinin Azalmasıyla Alterasyonun Arttığını ve Bu İlişkinin $R^2 = 0,9044$ Düzeyinde İstatistiksel Anlamlılık Taşıdığını Göstermektedir. 116

Şekil 15. Ardıçtepe Barajı Havzası Yaz Dönemi Kayaç Sertliği Haritası..... 125

Şekil 16. Ardıçtepe Baraj Havzası'nın Yaz Dönemi Kayaç Alterasyon Haritası..... 127

Şekil 17. Ardıçtepe Barajı Havzası'nda Kış Dönemi Schmidt Çekici Ölçümlerine Göre Kaya Sertliği ile Alterasyon İndeksi Arasındaki Korelasyon ve Regresyon Doğrusu 132

Şekil 18. Ardıçtepe Barajı Havzası Kış Dönemi Kayaç Sertliği Haritası 141

Şekil 19. Ardıçtepe Baraj Havzası'nın Kış Dönemi Kayaç Alterasyon Haritası 143

Şekil 20. Ardıçtepe Barajı Havzası'nda Schmidt Geri Tepme Yıllık Ortalama Sertliği (SI) ile Yıllık Ortalama Alterasyon İndeksi (AI) Arasındaki Doğrusal Regresyon İlişkisi 148

Şekil 21. Ardıçtepe Baraj Havzası'nda Kayaç Sertliğinin Yıllık Ortalama Dağılış Haritası 150

Şekil 22. Ardıçtepe Baraj Havzası'nda Kayaç Alterasyonunun Yıllık Ortalama Dağılışı 151

Şekil 23. Ana Kayaç Gruplarının Yağış Erozyon Faktörüne Göre Alansal Dağılımı (ton/ha/yıl)..... 153

Şekil 24. Ana kayaç Gruplarının Yükselti Kademelerine Göre Dağılımı..... 157

Şekil 25. Ana Kayaç Gruplarının Eğime Göre Dağılımı (ha)..... 160

Şekil 26. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın Toprak Haritası..... 163

Şekil 27. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın MPSIAC Toprak Faktör Haritası 179

Şekil 28. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın Yağış Haritası 181

Şekil 29. Ardıçtepe Barajı Havzası MPSIAC Yöntemine Göre Yağış Faktör Haritası 184

Şekil 30. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın Çatallanma Haritası..... 190

Şekil 31. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın Kayaç Türü Haritası 191

Şekil 32. Dağ Önü Sinüsitesi Ölçüm Yeri..... 194

Şekil 33. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın Drenaj Yoğunluğu Haritası..... 200

Şekil 34. Ballıbölük Tepe'nin Batısında, Permiyen–Triyas Dönemine Ait Metakırıntılı Kayaçlar Üzerinde Gelişen Kireçsiz Kahverengi Orman Toprakları ve Çınar (*Platanus sp.*) Topluluğu Görülmektedir. 201

Şekil 35. Ardıçtepe Barajı Havzası'nda Havza Şekli (R_F) İndeksinin Hesaplanması İçin Kullanılan L_b Ekseninin Harita Üzerindeki Konumu 203

Şekil 36. Havzanın Sağ Tarafı ile Sol Tarafının Karşılaştırılması 207

Şekil 37. Ana Akarsuya Paralel Maksimum Havza Uzunluğu 210

Şekil 38. V_f Ölçüm Yeri 212

Şekil 39. V_f Profili 213

Şekil 40. Çalışma Alanının Yükselti Frekans Histogramı 216

Şekil 41. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın Hipsometrik Eğrisi 219

Şekil 42. Ardıçtepe Barajı Havzası MPSIAC Yöntemine Göre Akım Faktör Haritası 223

Şekil 43. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın Jeomorfoloji Haritası..... 226

Şekil 44. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın Sayısal Yükselti Modeli Haritası 227

Şekil 45. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın Yüzey Eğriselliği (Yamaç Formları) Haritası 228

Şekil 46. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın Eğim Haritası 229

Şekil 47. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın Bakı Haritası 230

Şekil 48. Kule Tepe'nin Kuzeybatısında Bulunan Çavdarlık Tepe (1. İstasyon) Üzerinde Yer Alan Orman Yangın Gözetleme Kulesi'nden (1248 m) Maya Tepe'nin Görünümü (Doğudan Batıya Doğru Çekildi). Maya Tepe'de Permiyen-Triyas Dönemine Ait Metakırıntılı Kayaçlar Üzerinde Gelişen Kireçsiz Kahverengi Orman Toprakları Yer Almaktadır. 231

Şekil 49. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın MPSIAC Topoğrafya Faktörü Haritası 232

Şekil 50. Kule Tepe'nin Kuzeybatısında Bulunan Çavdarlık Tepe (1. İstasyon) Üzerinde Yer Alan Orman Yangın Gözetleme Kulesi'nden (1248 m) Maden Sahası'nın Görünümü 233

Şekil 51. Miyosen'e Ait Andezit-Tüf Üzerinde Gelişen Kireçsiz Kahverengi Orman Topraklarında Bulunan Gök Tepe'den Gebeçınar Yerleşim Alanının Görünümü ... 234

Şekil 52. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın Arazi Yüzey Kapalılık Haritası 238

Şekil 53. Ardıçtepe Barajı Havzası MPSIAC Yüzey Kapalılığı Dağılımı Haritası . 238

Şekil 54. Arap Tepe'nin Kuzeydoğusunda Miyosen'e Ait Andezit – Tüf Üzerinde Kireçsiz Kahverengi Orman Toprakları ve 0-11 Kapalılık Oranına Sahip Karakütük Damları. 5-10^0 (Az Eğimli Yamaç) Arasi Değişen Eğim Değerlerine Sahip Bu Arazide, Bitki Örtüsünün Seyrekliği ve Topoğrafyanın Belirginliği, Erozyon Riskini Artıran Önemli Faktörlerdendir. 239

Şekil 55. Göktepe'nin Güney Yamacında, Kuzeye Bakan Vadide Yer Alan ve Permiyen–Triyas Yaşlı Metakırıntılı Kayaçlar Üzerinde Gelişmiş Kireçsiz Kahverengi Orman Topraklarını Gösteren Arazinin Genel Görünümü. 241

Şekil 56. Ardıçtepe Barajı Havzası Arazi Örtüsü ve Kullanımı Haritası..... 242

Şekil 57. Ardıçtepe Barajı Havzası Mpsıac Yöntemine Göre Arazi Faktörü Haritası 243

Şekil 58. Kayabaşı Tepe Doğusundaki Yol Yarmasında Permiyen – Triyas'a Ait Çakıltaşı, Kumtaşı, Çamurtaşı Ardalanması Üzerinde Kireçsiz Kahverengi Orman Toprakları ve Kızılçam Ormanının Görünümü. Fotoğrafta Net Biçimde Görülen Dik Şevli Yamaçta Şiddetli Yüzey Erozyonu İzleri Gözlemlenmektedir..... 244

Şekil 59. Ardıçtepe Barajı Havzası Bileşik Topografik İndeks Haritası 246

Şekil 60. Ardıçtepe Barajı Havzası Yüzey Erozyon Faktör Haritası 248

Şekil 61. Göktepe Güneyindeki Permiyen – Triyas'a Ait Metakırıntılı Kaya Üzerinde Kireçsiz Kahverengi Orman Toprakları ve Yüzey Erozyonu (Schmidt Çekici Ölçek Olarak Kullanılmıştır). 249

Şekil 62. Ardıçtepe Barajı Havzası Akış Gücü İndeks Haritası 250

Şekil 63. Gümeli Yerleşim Birimi'ne 1,6 Km Mesafesinde Permiyen – Triyas'a Ait Çakıltaşı – Kumtaşı – Çamurtaşı Ardalanması Üzerinde Kireçsiz Kahverengi Orman Toprakları (Jeolog Çekici Ölçek Olarak Kullanılmıştır). 252

Şekil 64. Ardıçtepe Barajı Havzası Oyuntu Erozyon Faktör Haritası 253

Şekil 65. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın Yağış Haritası 259

Şekil 66. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın R Faktör Haritası 260

Şekil 67. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın K Faktör Haritası 261

Şekil 68. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın C Faktör Haritası 263

Şekil 69. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın LS Faktör Haritası 264

Şekil 70. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın P Faktör Haritası 266

Şekil 71. Ardıçtepe Barajı Havzası'nda Erozyon Ölçüm Çubuklarının Konumları 267

Şekil 72. Arazi Çalışmaları Sırasında Erozyon Çubuğu Kullanılarak Gerçekleştirilen Ölçüm Uygulaması 268

Şekil 73. Ardıçtepe Barajı Rezervuar Alanı ve Baraj Gövdesinin Genel Görünümü (02.03.2026). Fotoğrafın Sağ Bölümünde, Kret Kotu 275,00 m Olan ve Barajın En Üst Sınırını Oluşturan Kret Hattı ile Kil Çekirdekli Dolgu Tipindeki Gövde Yapısı Görülmektedir. Maksimum Su Seviyesine Ulaşmış Olan Rezervuar Yüzeyi, Barajın 37,60 hm^3'lük Toplam Depolama Kapasitesinin Sahadaki Alansal Yayılımını Temsil Etmektedir. 275

Şekil 74. Ardıçtepe Barajı Rezervuarı ve Dolu Savak Sisteminin Mansap Yönlü Görünümü (02.03.2026). Fotoğrafta Su Seviyesinin 268,60 m Olan Dolu Savak Kret Kotuna Ulaştığı ve Kontrollü Tahliyenin Başladığı Görülmektedir. Bu Durum, Analizlerde "Maksimum İşletme Seviyesi" Olarak Tanımlanan Kapasite Sınırlarının Sahadaki Güncel Karşılığını Doğrulamaktadır. Rezervuar Yüzeyindeki Suyun Bulanıklığı, Havza Genelinden Taşınan Rüsubat Yükünün ve Yüzeysel Akışın Görsel Bir Göstergesi Niteliğindedir. 276

Şekil 75. Ardıçtepe Barajı Rezervuar Alanının İşletme Başlangıç Dönemine (2016) Ait Alansal Derinlik Dağılımı ve Taban Topografyası. Haritada, Baraj Gölünün Orijinal Vadi Morfolojisini Yansıtan 236,9 m Seviyesindeki Minimum Taban Kotu ve Morfometrik Özellikleri Görülmektedir. 280

Şekil 76. Ardıçtepe Barajı Rezervuarının 2023 Yılı Güncel Ölçümlerine Dayalı Alansal Derinlik Değişimi ve Rüsubat Birikim Karakteristiği. Yedi Yıllık Süreçte Taban Kotunun 239,8 m Seviyesine Yükseldiği ve Sediment Yığılmasına Bağlı Olarak Rezervuarın Dikey Yönde Sığlaştığı İzlenmektedir. 281

Şekil 77. Ardıçtepe Barajı Rezervuar Tabanındaki 2016-2023 Dönemi Rüsubat Değişim Analizi ve Birikim Alanlarının Alansal Dağılımı 282

Şekil 78. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın Erozyon Kaynaklı Zarar Görebilirlik Haritası 283

Şekil 79. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın MPSIAC Tabanlı Erozyon Risk Haritası ... 288

Şekil 80. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın RUSLE Tabanlı Erozyon Risk Haritası 289

Şekil 81. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın MPSIAC Yöntemine Göre Yıllık Sediment Verimi Dağılışı 291

Şekil 82. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın RUSLE Yöntemine Göre Yıllık Toprak Kaybı Dağılışı 292

KISALTMALAR

AI : Alterasyon İndeksi

ASCE : American Society of Civil Engineers / Amerikan İnşaat Mühendisleri Derneği

BTG : Büyük Toprak Grupları

BTİ : Bileşik Topografik İndeks

CBS : Coğrafi Bilgi Sistemleri

CTI : Compound Topographic Index / Birleşik Topografik İndeks

DPT : Devlet Planlama Teşkilatı

DSİ : Devlet Su İşleri

ETKE : Erozyon Tehlike Katsayısı

FAO : Food and Agriculture Organization of the United Nations / Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü

ICONA : Institute for the Conservation of Nature / Doğayı Koruma Enstitüsü

IDW : Ters Mesafe Ağırlıklı

IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change / Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli

ISRM : International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering / Uluslararası Kaya Mekaniği ve Kaya Mühendisliği Derneği

İBBS : İstatistiki Bölge Birimleri Sınıflaması

KAF : Kuzey Anadolu Fayı

KKOT : Kireçsiz Kahverengi Orman Toprağı

KOT : Kahverengi Orman Toprağı

KKT : Kireçsiz Kahverengi Toprak

LAI : Leaf Area Index / Yaprak Alan İndeksi

MGM : Meteoroloji Genel Müdürlüğü

MFI : Düzeltilmiş Fournier İndeksi

MPSIAC : Modified Pacific Southwest Inter Agency Committee / Değiştirilmiş Pasifik Güneybatı Kurumlararası Komitesi

MTA : Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü

OM : Organik Madde

PAP : Priority Actions Programme / Öncelikli Eylemler Programı

PSIAC : Pacific Southwest Inter Agency Committee / Pasifik Güneybatı Kurumlararası Komitesi

RAC : Regional Activity Centre / Bölgesel Faaliyet Merkezi

RUSLE : Revised Universal Soil Loss Equation / Geliştirilmiş Evrensel Toprak Kayıp Denklemi

SCL : Sandy Clay Loam / Kumlu Killi Tın

SI : Schmidt Index

SİO : Sediment İletim Oranı

SL : Sandy Loam / Kumlu Tın

SPI : Stream Power Index / Akış Gücü İndeksi

SYM : Sayısal Yükseklik Modeli

TMMOB : Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği

TÜİK : Türkiye İstatistik Kurumu

UNDRR : United Nations Office for Disaster Risk Reduction / Birleşmiş Milletler Afet Riskini Azaltma Ofisi

UNEP : United Nations Environment Programme / Birleşmiş Milletler Çevre Programı

YETKE : Yağış Erozyon Tehlike Katsayısı Eşitliği

SİMGELER

A : Alüvyal Toprak

AF : Asimetri Faktörü

A_s : Akış birikim alanı (m^2)

B_h : Havza Rölyef

β : Eğim açısı (derece)

BJ : Baraj

C : Arazi örtüsü faktörü

$CaCO_3$: Kireç

CK : Çıplak Kaya ve Molozlar

D_d : Drenaj Yoğunluğu

F : Fundalık

F_s : Akarsu Sıklığı

Ho : Meandrospira cf. pusilla fosili

IY : Irmak Taşkın Yatağı

K_g : Gravelius İndeksi

L_o : Yüzeysel Akış Uzunluğu

Ln : Doğal Logaritma

LS : Yamaç uzunluğu (L) ile eğim derecesi (S)

m : Akış birikim alanına bağlı olarak değişen katsayı

M : Mera

N : Kuru Tarım (nadassız)

n : Eğim duyarlılık katsayısı

$NaAlSi_3O_8$: Albit kimyasal bileşimi

O : Orman

P : Erozyon koruma uygulamaları faktörü

P_2 : 2 yıl içerisinde gerçekleşen 6 saatlik yağış

P_b : Yüzey kapalılık oranı (%)

P_c : Gölgelik yüzde oranı (%)

Ph : Yağış miktarı bulunacak nokta

Po : Yükseltisi bilinen ve yağış rasadı yapan bir istasyonun yağış tutarı

Q_p : 1 yılda meydana gelen en yüksek boşaltım

Qs : Sediment verimi

$R_{altered}$ **:** Alterasyonlu örneğin ortalama Schmidt değeri

Rb : Çatallanma Oranı

R_{fresh} **:** Taze örneğin ortalama Schmidt değeri

R_F : Havza Şekli

R_h : Rölyef Oranı

R_n : Engebelilik Değeri

R_t : Drenaj Tekstür Oranı

SiO_2 : Kuvars kimyasal formülü

Smf : Dağ Önü Sinüsite İndeksi

SSF : Yüzey erozyonu toplamı

SSF_g : Oyuntu erozyonu toplamı

T : Tekstür Oranı

YR : Yerleşim Yeri

S : Sulu Tarım

S : Yüzde eğim değeri

Sy : Yetersiz Sulu Tarım

V_f İndeksi : Valley Floor Width – Valley Height Ratio

X_1 : MPSIAC Anakaya Faktörü

X_2 : MPSIAC Toprak eroadibilite faktörü

X_3 : MPSIAC İklim Faktörü

X_4 : MPSIAC Akım/Debi Faktörü

X_5 : MPSIAC Eğim / Topoğrafya Faktörü

X_6 : MPSIAC Yüzey Kapalılığı Faktörü

X_7 : MPSIAC Arazi Kullanımı Faktörü

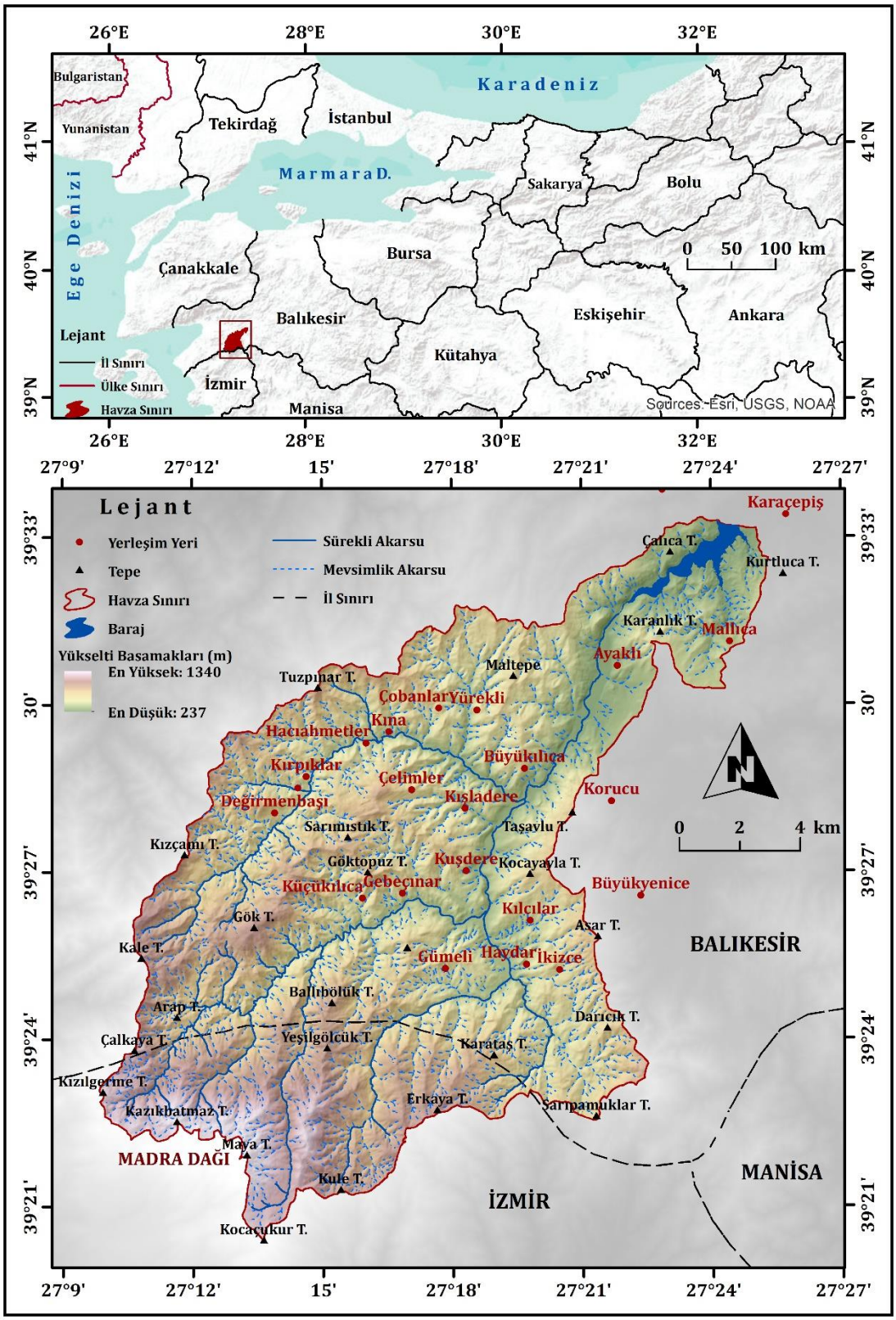
X_8 : MPSIAC Yüzey Erozyonu Faktörü

X_9 : MPSIAC Kanal (Oyuntu) Erozyonu Faktörü

1. GİRİŞ

“Ardıçtepe Barajı Havzası'nda (İvrindi-Balıkesir) Karşılaştırmalı Erozyon Risk Analizi" başlıklı bu çalışmada, erozyon tehlikesi, zarar görebilirlik ve erozyon riski bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmiştir. Erozyon, toprakların doğal yapısını bozan, verimliliği azaltan ve ekosistem dengesini tehdit eden en yaygın çevresel sorunlardan biridir. Özellikle insan faaliyetleriyle hızlanan bu süreç; ormansızlaşma, hatalı arazi kullanımı, aşırı otlatma ve eğimli yamaçlardaki yanlış tarım uygulamalarıyla daha da derinleşmektedir. Toprak kaybının yanı sıra, akarsuların taşıdığı sediment miktarının artması barajlarda birikimlere yol açmakta, bu da barajların ekonomik ömrünü azaltmakta ve su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimini tehlikeye sokmaktadır. Günümüzde erozyon sadece kırsal alanları değil; su kaynakları, tarımsal üretim, biyolojik çeşitlilik ve yerleşim güvenliği üzerinde de çok boyutlu etkilere sahip kritik bir çevresel tehdit hâline gelmiştir. Bu bağlamda, erozyon dinamiklerinin anlaşılması, etkilerinin belirlenmesi ve riskli alanların konumsal olarak ortaya konulması, doğal kaynakların sürdürülebilir yönetimi açısından büyük önem taşımaktadır.

Ardıçtepe Barajı Havzası, Türkiye’nin kuzeybatısında, Marmara Bölgesi’nin Güney Marmara Bölümü’nde yer alan Karesi Yöresi içerisinde konumlanmaktadır. Havza, coğrafi olarak 27˚09'30"–27˚26'00" doğu boylamları ile 39˚20'30"–39˚34'30" kuzey enlemleri arasında yer almaktadır. 2002 yılında Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) ve Devlet Planlama Teşkilatı (DPT) tarafından oluşturulan İstatistiki Bölge Birimleri Sınıflaması’na (İBBS) göre Ardıçtepe Barajı Havzası; TR2 Batı Marmara Bölgesi ile TR3 Ege Bölgesi (Düzey I) içinde yer almakta olup, bu bölgeler kapsamında TR22 Balıkesir Alt Bölgesi ve TR31 İzmir Alt Bölgesi (Düzey II) sınırları içerisinde kalmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın Lokasyon Haritası

Kaynak: Orijinal

Kocaçay'ın yukarı havza kısmında yer alan ve su bölümü çizgisiyle sınırları belirlenen çalışma alanı, yaklaşık 25.737 hektarlık (257,37 km²) bir alanı

kapsamaktadır. Havza, idari olarak Balıkesir ilinin İvrindi ilçesi ile İzmir ilinin Bergama ilçesi sınırları içinde yer almaktadır. Çalışma sahasının sınırlarını oluşturan yükseltiler arasında Madra Dağı başta olmak üzere Maya Tepe (1343 m), Kazıkbatmaz Tepesi (1289 m), Karataş Tepesi (1223 m), Kocaçukur Tepesi (1206 m), Kızılgerme Tepesi (1190 m), Çalkaya Tepesi (1178 m), Erkaya Tepesi (1044 m), Kocaçakır Tepesi (1039 m), Kule Tepesi (1011 m), Büyüksöbe Tepesi (984 m), Kayaçal Tepesi (937 m), Kuşça Tepesi (931 m), Gelinindiren Tepesi (930 m), Tuzpınar Tepesi (889 m), Asar Tepesi (816 m), Taşavlu Tepesi (733 m), Göktepe (664 m), Erenler Tepesi (452 m), Koşubaşı Tepesi (442 m) ve Ardıç Tepe (206 m) dir (Şekil 1).

Ardıçtepe Barajı Havzası'nın içinde bulunduğu Güney Marmara Bölümü'nün günümüzdeki morfolojik özellikleri, büyük ölçüde Neotektonik Dönem'de etkili olan tektonik hareketler sonucunda şekillenmiştir (Emre vd., 1997: 36-57). Bölgedeki paleo-coğrafi şartlar Miosen'e kadar denizel ortam koşullarıyla karakterize olmuşken, Miyosen'den itibaren karasal ortam etkisi belirginleşmiş ve bununla birlikte aşınım süreçleri devreye girmiştir. Bu süreç, göl-akarsu çökellerini barındıran bir peneplen yüzeyinin gelişmesine olanak sağlamıştır. Ancak Üst Miyosen–Pliyosen Dönemi'nde, bölgede etkinleşen tektonizma sonucunda bu peneplen yüzeyi önemli ölçüde değişime uğramış; KD-GB ve KB-GD yönlü faylanmalarla bloklara ayrılarak parçalanmıştır. Alt-Orta Miyosen peneplen yüzeyinin, Üst Miyosen'den başlayarak Pliyosen'e kadar olan süreçteki tektonik hareketlerle yükselmesi ve parçalanması, bölgedeki dağlık alanların ve plato düzlüklerinin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Pliyosen Sonu–Pleyistosen Dönemi'nde ise, devam eden tektonik hareketlerle hem yükselmeler hem de parçalanmalar devam etmiş; D-B doğrultulu Kuzey Anadolu Fay Sistemi ile K-G doğrultulu Ege Fay Sistemi arasındaki alanlarda farklı seviyelerde yüzeyler şekillenmiştir. Bu süreç, özellikle Alt Kuvaterner'den itibaren genç jeomorfolojik yüzeylerin oluşumunu da beraberinde getirmiştir. Sonuç olarak, bölgede etkili olan çoklu tektonik sistemlerin ve farklı dönemlerdeki aşınım süreçlerinin ortak etkisiyle polijenik (çok etkenli) ve polisiklik (çok dönemli) bir topoğrafya ortaya çıkmıştır. Bu durum, saha genelinde jeomorfolojik karmaşıklığı ve arazi kullanımını doğrudan etkileyen önemli bir faktördür.

Ardıçtepe Barajı Havzası, litolojik çeşitlilik açısından oldukça zengin bir yapıya sahiptir (Şekil 5). Havzanın kuzey ve orta kesimlerinde yaygın olarak gözlenen Miyosen yaşlı andezit–tüf, kumtaşı–çamurtaşı–kireçtaşı ve Oligosen–Miyosen

granodiyorit birimleri, erozyona karşı orta düzeyde dirençli kayaçlardan oluşmaktadır. Buna karşılık, güney kesimde yer alan ve özellikle Permiyen–Triyas yaşlı çakıltaşı, kumtaşı ve metamorfit birimler, daha fazla ayrışma eğiliminde olan kayaçlar olarak erozyon açısından daha yüksek risk oluşturmaktadır. Ayrıca, Alt Triyas yaşlı mermer ve Permiyen kireçtaşı birimleri yer yer yüksek eğimlerle birleşerek erozyon açısından kritik alanlar yaratmaktadır.

Ardıçtepe Baraj Havzası'nın da içinde yer aldığı çalışma sahasında, geçiş formundaki Marmara iklimi etkisini göstermektedir. Bu iklim tipi, Akdeniz iklim kuşağı içerisinde değerlendirilmekle birlikte hem planeter hem de coğrafi faktörlerin etkisiyle kendine özgü nitelikler kazanmıştır. Nitekim Erinç (1962:375), "Klimatoloji ve Metotları" adlı temel eserinde bu duruma dikkat çekerek, söz konusu bölgenin Akdeniz ikliminden önemli farklarla ayrıldığını ve bu nedenle "Marmara geçiş iklimi" olarak adlandırılması gerektiğini ifade etmektedir. Bu iklimsel farklılık, doğal bitki örtüsüne de doğrudan yansımaktadır. Daha alçak kotlardaki alanlarda, iklimin nemlilik derecesine ve mevsimsel dağılışına bağlı olarak kızılçam (*Pinus brutia*) ve meşe (*Quercus spp*.) topluluklarının oluşturduğu kuru ormanlar ve çalı formasyonları yaygın bir biçimde görülmektedir. Bu tür formasyonlar, özellikle yaz mevsimindeki kurak dönemin etkisiyle su stresine dayanıklı bitki türlerinden oluşmakta ve yarı kurak koşullara uyum sağlamış ekosistemleri temsil etmektedir.

Ardıçtepe Barajı Havzası, topografik çeşitliliği ve jeomorfolojik yapısı nedeniyle farklı pedojenetik süreçlerin etkili olduğu çeşitli toprak türlerine ev sahipliği yapmaktadır. Havza genelinde zonal topraklar geniş bir yayılış alanı bulmakta olup, özellikle kahverengi orman toprakları ve kireçsiz kahverengi orman toprakları dikkat çekmektedir. Kahverengi orman toprakları, yaklaşık 8.136 hektar alan kaplayarak ormanlık alanlarla örtüşen, geçirgenliği yüksek ve organik madde açısından zengin zeminlerdir. Buna karşılık, kireçsiz kahverengi orman toprakları havzanın 16.173 hektarlık bölümünde yer almakta, özellikle yüksek eğimli, aşınıma açık sahalarda yoğunlaşmaktadır. Bu iki ana zonal toprak tipi, eğim haritasında %20'nin üzerindeki yamaçlarla çakışmakta, bu da havzada erozyona açık sahaların büyük oranda bu toprak grupları üzerinde geliştiğini göstermektedir. Ayrıca, akarsu vadilerine yakın kesimlerde alüvyal ve kolüvyal topraklar dar bantlar halinde izlenmekte olup, bu alanlar hem tarımsal kullanım hem de sediment taşınımı açısından önem arz etmektedir. Toprak özelliklerinin bu denli çeşitlilik göstermesi, havzadaki arazi

kullanım planlaması, erozyon riski analizi ve çevresel sürdürülebilirlik açısından dikkate alınması gereken temel unsurlar arasında yer almaktadır.

1.1. Araştırmanın Problemi

Türkiye'de pek çok baraj havzası gibi, bu çalışmanın yürütüldüğü baraj havzası da hem topoğrafik yapı hem de iklimsel özellikler nedeniyle ciddi erozyon riski altında bulunmaktadır. Havzada gerek anakaya erozyonu gerekse toprak erozyonu birlikte gerçekleşmekte, bu durum hem fiziksel hem de jeomorfolojik bozunumu tetiklemektedir. Bu süreçler, yalnızca toprak kaybına değil, aynı zamanda havzanın şekillenme dinamiklerinde bozulmalara, barajlarda sediment birikimine ve tarım arazilerinde verimlilik kaybına yol açmaktadır.

Havzada özellikle tarım alanlarında erozyonun oluşturduğu fiziksel tahribat; toprağın üst verimli tabakasının kaybı, toprak profiline zarar verilmesi ve su tutma kapasitesinin azalması gibi etkilerle tarımsal üretim üzerinde ciddi tehditler oluşturmaktadır. Bununla birlikte, siltasyonun baraj rezervuarına etkisi, su depolama kapasitesinin azalmasına ve baraj ömrünün kısalmasına neden olmaktadır. Bu durum, bölgesel ölçekte hem tarımsal kalkınmayı hem de su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimini tehdit etmektedir.

Çalışma kapsamında kullanılan RUSLE ve MPSIAC erozyon modelleri hem mekânsal hem de nicel olarak değerlendirilmiş, ayrıca araziye dikilen erozyon çubukları sayesinde modellerin alandaki gerçek koşulları ne ölçüde yansıttığı da karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bu sayede modellerin başarı düzeyi, güvenilirliği ve sınırlılıkları hakkında da önemli sonuçlara ulaşılmıştır. Bununla birlikte havzanın aşınım ve birikim bölgeleri detaylı bir şekilde analiz edilmiş, erozyon tehlikesinin yoğunlaştığı alt havzalar belirlenmiştir. Özellikle dik yamaçlar, geçirimsiz kayaç alanları ve zayıf bitki örtüsüne sahip kesimlerde erozyonun şekil oluşturucu etkisi dikkat çekmektedir. Bu da çalışmaya jeomorfolojik süreçlerin yorumlanması açısından da önem kazandırmaktadır.

Tüm bu nedenlerle, bu araştırmanın temel problemi; erozyonun miktarı, mekânsal dağılımı ve etkileri ile bu süreci yönlendiren doğal ve beşerî faktörlerin ortaya konulması, buna bağlı olarak havzanın fiziksel çevresine yönelik risk değerlendirmesinin yapılmasıdır.

1.2. Araştırmanın Amacı

Bu araştırmanın temel amacı, Ardıçtepe Barajı drenaj havzasında gerçekleşen toprak erozyonunu alansal olarak analiz etmek ve erozyona neden olan faktörlerin etkilerini ortaya koymaktır. Bu doğrultuda, CBS tabanlı ortamda RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) ve MPSIAC (Modified Pacific Southwest Inter Agency Committee) modellerinden yararlanılarak, havzadaki yıllık potansiyel toprak kaybı miktarı (ton/ha/yıl) hesaplanmıştır.

Çalışmada, havzanın jeolojik, topoğrafik, klimatolojik, bitki ve toprak özellikleri göz önüne alınarak, erozyon riski taşıyan alanların konumsal dağılımı belirlenmiş; birikim ve aşınım zonları tespit edilmiştir. Ayrıca her iki modelin sunduğu sonuçlar karşılaştırılarak, model performansları, güçlü ve sınırlı yönleri analiz edilmiştir. Araştırmada yer alan arazi çalışmaları, özellikle kullanılan erozyon çubukları, modellerin saha verileriyle ne ölçüde uyumlu olduğunu göstermede önemli bir araç olarak değerlendirilmiştir.

Bu kapsamda araştırmada aşağıdaki sorulara yanıt aranmıştır:

- Ardıçtepe Barajı drenaj havzasında RUSLE ve MPSIAC modellerine göre yıllık potansiyel toprak kaybı miktarı ne kadardır?
- RUSLE ve MPSIAC modelleri saha verileriyle (ör. erozyon çubukları) ne ölçüde uyumludur?
- RUSLE yönteminde anakaya faktörünün yer almaması sonucu nasıl etkilemektedir?
- Baraj havzası içerisinde erozyonun yoğunlaştığı ve birikimin gerçekleştiği alanlar nerededir?
- Erozyonun tarım alanlarına ve barajın sediment birikimi üzerine etkileri hangi düzeydedir?
- Getirilen sediment madde ne kadar sürede baraj rezervuarını dolduracak?
- Havzada yer alan anakaya ve toprak özellikleri ile eğim, yükselti ve yağış erozyon faktörü gibi çevresel değişkenler, erozyonun dağılımını nasıl etkilemektedir?
- Erozyon havzada ne düzeyde şekil oluşturmuştur?

- Havzada meydana gelen erozyonun kaynağı ağırlıklı olarak anakaya mı yoksa toprak materyali mi olmuştur?

Bu sorulara verilen yanıtlar, çalışmanın hem bilimsel hem de uygulamalı katkısını oluşturmaktadır. Ayrıca havzada şimdiye kadar yapılmamış olan bu kapsamlı erozyon analizi ile, ileride yürütülecek rehabilitasyon, arazi kullanım planlaması ve baraj yönetimi uygulamaları için önemli bir zemin oluşturulması hedeflenmiştir.

1.3. Araştırmanın Önemi

Toprak erozyonu, doğal kaynakların sürdürülebilir yönetimini tehdit eden ve çevresel dengeleri bozan en önemli sorunlardan biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Erozyon sonucunda yalnızca verimli toprak tabakası kaybolmakla kalmamakta, aynı zamanda barajlarda sediment birikimi artmakta, su depolama kapasiteleri azalmaktadır. Bu durum, tarımsal üretimi, su kaynaklarını ve ekosistem hizmetlerini doğrudan etkileyen çok yönlü sonuçlar doğurmaktadır. Özellikle baraj havzalarında meydana gelen erozyon ve siltasyon süreçleri, yerel düzeyde ekonomik kayıplara yol açarken, ulusal düzeyde de doğal kaynakların yönetimi açısından ciddi sorunlar yaratmaktadır. Bu sebeple, erozyonun mekânsal dinamiklerinin ortaya konulması ve buna bağlı risklerin belirlenmesi, sürdürülebilir çevre yönetimi için büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmanın önemi, öncelikle Ardıçtepe Barajı Havzası'nda ilk gerçekleştirilecek olan kapsamlı erozyon analizinden kaynaklanmaktadır. Yapılan ön değerlendirmelerde, söz konusu havzada daha önce erozyona yönelik herhangi bir bilimsel çalışmanın yapılmadığı tespit edilmiştir. Bu durum, araştırmanın bilimsel literatürdeki önemli bir boşluğu doldurmakta ve çalışmanın özgünlüğünü ortaya koymaktadır. Havzada uygulanacak olan modelleme ve saha gözlemleri ile elde edilecek bulgular, bölgeye özgü erozyon süreçlerinin anlaşılmasına ve mevcut çevresel tehditlerin değerlendirilmesine olanak sağlayacaktır.

Araştırma, ulusal düzeyde de dikkat çekici katkılar sunmayı hedeflemektedir. Türkiye'de bugüne kadar yapılan erozyon çalışmalarında en yaygın kullanılan yöntemlerden biri RUSLE modeli olmuştur. Ancak RUSLE, yalnızca hızlandırılmış toprak erozyonunu hesaplayan ve anakaya faktörünü dışarıda bırakan bir yöntemdir. Bu araştırmada kullanılacak olan MPSIAC yöntemi ise, anakaya erozyonunu da

hesaplamaya dahil ederek elde edilen verilerin doğruluk ve güvenilirliğini artıracaktır. Böylece, ülkemizde erozyon araştırmaları için yeni bir yöntem uygulaması ve örnek çalışma niteliği taşıyacak olan bu çalışma, benzer havzalarda yapılacak araştırmalar için referans olma özelliği taşıyacaktır.

Bölgesel düzeyde bakıldığında, bu çalışmanın baraj havzası bazında yapılacak olması, sadece Ardıçtepe Barajı özelinde değil, bölgedeki diğer baraj havzaları için de yol gösterici olacaktır. Havzada yapılacak risk analizleri, aşınım ve birikim alanlarının tespiti, siltasyonla mücadelede uygulanabilecek stratejilerin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır. Ayrıca, tarımsal faaliyetler üzerinde erozyonun yarattığı olumsuz etkilerin ortaya konulmasıyla birlikte, bölgedeki tarım politikalarının şekillenmesine ve sürdürülebilir tarımsal uygulamaların geliştirilmesine destek olunacaktır.

Ekonomik açıdan bakıldığında, barajların siltasyon nedeniyle ömrünün kısalması ve tarım alanlarının verimliliğinin düşmesi gibi sorunlar, uzun vadede ciddi ekonomik kayıplara yol açmaktadır. Bu araştırmanın bulguları doğrultusunda alınacak önlemler sayesinde hem barajların kullanım ömrü uzatılabilecek hem de tarımsal üretimde sürdürülebilirlik sağlanabilecektir. Böylece, doğal kaynakların korunması yoluyla ulusal ekonomiye katkı sağlanması hedeflenmektedir.

Araştırmanın toplumsal katkıları da göz ardı edilemez niteliktedir. Erozyonun neden olduğu çevresel sorunlara karşı toplumda farkındalığın artırılması, tarımsal üretimde bilinçli uygulamaların yaygınlaştırılması ve doğal kaynakların korunması konusunda duyarlılığın geliştirilmesi açısından çalışma önemli bir etki yaratacaktır. Çalışmanın sonuçlarının Devlet Su İşleri, tarım sektörü, yerel yönetimler, akademik kurumlar, tarımsal işletmeler ve bölge çiftçileri başta olmak üzere çok sayıda kurum ve birey için yol gösterici olması beklenmektedir.

Son olarak, bilimsel ve akademik anlamda bu araştırma; toprak bilimi, tarım, su yönetimi, ekosistem sağlığı, iklim değişikliği, toplumsal kalkınma ve doğal afet yönetimi gibi çok disiplinli alanlara katkı sunacaktır. Elde edilecek veriler, sadece mevcut durumun tespiti açısından değil, aynı zamanda gelecekte yapılacak araştırmalar için de veri kaynağı oluşturacaktır. Bu bağlamda çalışma, uygulamalı jeomorfoloji alanında yapılacak yeni projeler için de bir başlangıç noktası niteliği taşımaktadır.

1.4. Araştırmanın Varsayımları

Bu araştırmada kullanılan yöntem ve verilerin bilimsel geçerliliğe sahip olduğu kabul edilmiştir. (CBS) tabanlı analizlerin doğruluğu, kullanılan veri setlerinin güvenilirliği ve modellenen sonuçların arazi koşullarını temsil etme derecesi temel varsayımları oluşturmaktadır. Çalışma kapsamında kullanılan RUSLE ve MPSIAC modellerinin, havza bazında uygulanabilirliği kabul edilmiş ve bu modellerin sunduğu sonuçların bölgedeki gerçek erozyon süreçlerini yansıttığı varsayılmıştır.

Bununla birlikte, arazi ölçümleri sırasında elde edilen verilerin (örneğin, erozyon çubuklarıyla yapılan ölçümler) sahadaki mevcut doğal süreçleri temsil ettiği kabul edilmiş ve bu verilerin analizlerde güvenilir göstergeler sunduğu düşünülmüştür. Kullanılan iklim verileri, toprak analizleri ve diğer coğrafi katmanların güncel, doğru ve çalışma amacına uygun olduğu varsayılmıştır.

Bu kapsamda araştırmanın temel varsayımları şu şekilde özetlenebilir:

- Kullanılan CBS verileri, dijital haritalar ve analizler çalışma sahasının doğal koşullarını doğru biçimde yansıtmaktadır.
- RUSLE ve MPSIAC modelleri, Ardıçtepe Barajı Havzası'nda erozyon riskini belirlemede uygun yöntemlerdir.
- Arazi ölçümleri, analizlerde kullanılan verileri destekleyen güvenilir ve geçerli saha verilerini sağlamıştır.
- Kullanılan toprak, jeoloji, iklim ve arazi kullanım verileri doğru, güncel ve analizlerin amacına uygun özelliklere sahiptir.

1.5. Araştırmanın Sınırlılıkları

Bu araştırma, Ardıçtepe Barajı Havzası'nda yürütülen erozyon analizi ve risk değerlendirmesi kapsamında çeşitli sınırlılıkları da beraberinde getirmiştir. Çalışmanın sınırlarını belirleyen faktörler; veri temini, arazi şartları, teknik altyapı ve çalışma sahasının özelliklerinden kaynaklanmıştır. Araştırma bulguları, belirtilen bu sınırlılıklar çerçevesinde değerlendirilmelidir.

Havza ölçeğinde gerçekleştirilen çalışmada, bölgenin yüksek kesimlerinde meteoroloji istasyonlarının bulunmaması nedeniyle, özellikle yağış verilerinin elde edilmesi sürecinde mevcut meteorolojik istasyonlardan alınan verilerle yetinilmiştir.

Bu durum, bölgedeki mikroklimatik farklılıkların yağış-erozyon ilişkisi üzerindeki etkisinin tam olarak yansıtılamamasına neden olmuştur.

Erozyon analizi yalnızca Ardıçtepe Barajı'na sediment taşıyan akaçlama havzası sınırları içerisinde gerçekleştirilmiş; bu alanın dışında kalan ancak bölgesel ölçekte etkili olabilecek su toplama sahaları araştırma kapsamı dışında bırakılmıştır. Bu tercih, çalışmanın amacına uygun olmakla birlikte, bulguların yalnızca bu spesifik havzayla sınırlı olduğunu göstermektedir.

Bölgede yürütülen madencilik faaliyetleri nedeniyle, maden işletmelerinin kapsadığı alanlarda güvenlik, erişim kısıtlamaları ve arazi yapısındaki bozulmalar sebebiyle, bazı ana kayaç gruplarında arazi gözlemleri ve sertlik ölçümleri yapılamamıştır.

Çalışma sahasındaki yüksek kesimlerdeki yolların çoğunun stabilize yol veya patika olması, ulaşımı zaman zaman güçleştirmiş; ayrıca bazı özel mülkiyete ait tarım alanlarına giriş izni alınamaması, arazide veri toplama sürecini sınırlandırmıştır.

Arazi çalışmaları yaz döneminde gerçekleştirildiğinden, orman yangınları riski nedeniyle Orman İşletme Müdürlüğü'nden arazi aracı temininde zorluklar yaşanmış, bu da bazı bölgelere erişimi sınırlamıştır.

Erozyonun ölçümü amacıyla arazide dikilen erozyon çubuklarının saha dışı müdahalelere maruz kalması (örneğin yerel halk tarafından çıkarılması, yer değiştirilmesi) çalışma güvenilirliği açısından potansiyel bir risk olarak değerlendirilmiştir.

Bunların yanı sıra, kullanılan toprak analizlerinin bölgedeki genel durumu temsil ettiği varsayılmış, ancak toprak analiz noktalarının sınırlı sayıda olması, bulguların tüm havza geneline doğrudan genellenmesini sınırlayan bir başka unsur olmuştur.

1.6. Tanımlar

Aglomera: Lapilli gibi iri unsurların, lavlardan yapısı olan doğal bir çimento ile birleştirilmeleri sonucu ortaya çıkan volkan breşi. Bunlar ekstrüzif (dış püskürük) kayalardır (Güney, 2003).

Akarsu Havzası: Bir akarsuyun ana kolu ile bütün kollarının sularını topladığı kara parçasıdır. Bu alan, yağışla beslenen suların eğim doğrultusunda belirli bir akarsuya yöneldiği coğrafi bir birimdir. Havzanın büyüklüğü, akarsu rejimini, taşkın potansiyelini ve sediment taşınımını doğrudan etkiler (Strahler vd., 1992).

Albit: Sodyum açısından zengin bir plajiyoklaz feldispat mineralidir ve kimyasal formülü $NaAlSi_3O_8$'dir. Genellikle beyaz ya da renksizdir ve camsı parlaklık gösterir. Magmatik kayaçlarda (özellikle granit ve granodiyorit) yaygın olarak bulunur; ayrıca düşük dereceli metamorfik kayaçların da tipik bileşenlerinden biridir. Albit, kayaçların kristallenme sıcaklıkları ve ortam koşulları hakkında ipuçları veren önemli bir petrografik göstergedir (Deer vd., 1992).

Alg: Genellikle sucul ortamlarda yaşayan, klorofil içeren, fotosentez yapabilen ve çoğu mikroskobik yapıda olan ilkel bitkisel organizmalardır. Tatlı su, deniz ve nemli toprak yüzeylerinde yaygın biçimde bulunurlar. Algler, besin zincirinin temel üreticileri olmalarının yanı sıra, sulak alanlarda su kalitesini etkileyen ve bazen "alg patlaması" ile çevresel sorunlara neden olabilen canlılardır (Graham, 2009).

Alterasyon: Sıcak hidrotermal sıvıların kayaçlarla kimyasal etkileşimi sonucu minerallerin yeniden oluşması veya değişmesi sürecidir (Admassu, 2018).

Alüvyon: Akarsuların taşıdığı ve zamanla biriktirdiği, sıkışmamış ve çimentolanmamış tortul malzemelerdir. Genellikle kil, mil, kum ve çakıl gibi unsurlardan oluşur. Bu birikintiler nehir yatakları, taşkın ovaları ve deltalar gibi akarsuya bağlı ortamlarda görülür. Alüvyal topraklar genellikle verimli olup, tarımsal üretim için elverişli zeminler sağlar. Aynı zamanda flüvyal yer şekillerinin oluşumunda önemli bir rol oynar (Summerfield, 1991).

Andezit: Orta silisli (orta derecede silika içeren) magmatik bir kayaç olup genellikle gri renkli ve ince tanelidir. Genellikle levha sınırlarında, özellikle dalma-batma zonlarında oluşur. Mineralojik olarak plajioklaz, amfibol, piroksen ve bazen biyotit içerir. Andezitler, volkanik yaylarda yaygın olarak gözlenen ve genellikle stratovolkanların temelini oluşturan kayaçlardır (Best, 2003).

Biyotit: Mika grubuna ait, koyu kahverengi ile siyah arasında değişen renklere sahip, tabakalı kristal yapılı bir ferromagnezyen silikat mineralidir. Kimyasal bileşimi $K(Mg,Fe)_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$ formülüne sahiptir. Camsı parlaklığı, mükemmel bazal yarılma özelliği ve yapraksı görünümü ile tanınır. Magmatik kayaçlarda (örneğin

granit, diyorit, bazalt) ve orta-yüksek dereceli metamorfik kayaçlarda (şist, gnays) yaygındır. Yüksek demir içeriği nedeniyle paramanyetik özellikler gösterebilir ve kayaçların jeotermal koşulları hakkında ipucu verir (Deer vd., 1992).

Çatallanma: Bir akarsuyun akış yolu boyunca kollara ayrılarak birden fazla akarsu kolu oluşturması durumudur. Bu süreçte ana kol, genellikle topoğrafik eğim, alüvyal yapı ya da bitki örtüsü gibi faktörlerin etkisiyle iki ya da daha fazla kola ayrılır ve bu kollar farklı yönlere doğru akışlarını sürdürür (Goudie, 2004).

Devitrifikasyon: Volkanik camların zamanla kristallenerek camsı yapılarını kaybetmesi sürecidir. Soğuma sırasında amorf (cam) yapıda kalan lav, daha sonra jeolojik zaman içerisinde düşük sıcaklık ve hidrotermal etkilerle mikrokristaller (örneğin kuvars, feldispat) geliştirmeye başlar. Bu süreç sonucunda volkanik cam bulanıklaşır ve optik özelliklerini kaybederek kristalin bir yapıya dönüşür. Devitrifikasyon, kayaçların mineralojik bileşimini, gözenekliliğini ve fiziksel özelliklerini etkileyebilir (Best, 2003).

Devitrifiye: Başlangıçta camsı (amorfoz) yapı gösteren volkanik kayaçların, zamanla mikrokristalin minerallere dönüşerek camsı dokusunu kaybetmiş hâlini tanımlayan sıfattır. Devitrifiye olmuş kayaçlar, artık optik olarak saydamlığını yitirmiştir ve mikroskop altında mat, bulutsu veya iğnemsi kristallerle tanınır. Bu dönüşüm, genellikle obsidiyen, volkanik tüf ya da camlı lav akıntıları gibi kayaçların geçirdiği bir alterasyon sürecinin sonucudur (MacKenzie vd., 1982).

Dış Bükey Yamaç: Yukarıdan aşağıya doğru inildikçe eğimin arttığı, dışa doğru bombe yapan konveks yamaç tipidir. Genellikle baş kısmı daha yatık olup aşağıya doğru eğim keskinleşir. Bu yamaç biçimi, yüzey akışını hızlandırarak erozyon etkilerinin artmasına neden olur. Aşındırma süreçleri açısından oldukça aktiftir (Huggett, 2007).

Doğrusal regresyon: İki ya da daha fazla nicel değişken arasındaki ilişkiyi doğrusal (lineer) bir denklemle ifade etmeye yarayan istatistiksel bir modeldir. Bağımlı değişkenin, bir ya da birden fazla bağımsız değişken tarafından nasıl etkilendiğini analiz etmek için kullanılır. Modelin temel amacı, bağımlı değişkenin değerlerini tahmin etmektir (Montgomery vd., 2012).

Drenaj Yoğunluğu: Bir havzadaki toplam akarsu uzunluğunun, havzanın yüzölçümüne oranlanmasıyla elde edilen değerdir (km/km²). Drenaj yoğunluğu, arazi

geçirgenliği, bitki örtüsü, iklim özellikleri ve jeolojik yapı gibi birçok faktörün birleşik etkisini yansıtır. Yüksek drenaj yoğunluğu, yüzey akışının hızlı ve erozyon potansiyelinin fazla olduğunu gösterirken; düşük değerler genellikle geçirgen zeminlere ve zayıf yüzey akışına işaret eder (Horton, 1945).

Enterpolasyon: Bilinen veri noktaları arasındaki boşlukları, matematiksel yöntemler yardımıyla tahmin ederek yeni değerler üretme işlemidir. Coğrafi çalışmalarda genellikle yükseklik, yağış, sıcaklık ya da erozyon gibi değişkenlerin alansal dağılımını sürekli yüzeyler (örneğin sayısal arazi modelleri) hâline getirmek için kullanılır. IDW (ters mesafe ağırlıklı), Kriging, spline gibi farklı enterpolasyon yöntemleri, verinin mekânsal desenine göre seçilir (Burrough ve McDonnell, 1998).

Epidot: Kalsiyum, alüminyum ve demir içeren, tipik olarak yeşilimsi renkte, metamorfik ve hidrotermal alterasyon ortamlarında yaygın bir silikat minerali (Nesse, 2012).

Eroadibilite: Bir toprak yüzeyinin erozyona karşı gösterdiği direnç düzeyidir. Başka bir ifadeyle, toprağın su veya rüzgâr etkisiyle taşınmaya ne derece yatkın olduğunu belirten özelliktir. Eroadibilite, toprak dokusu (tekstür), organik madde miktarı, yapı (agregat stabilitesi), geçirgenlik ve yüzey özellikleri gibi faktörlere bağlıdır. Yüksek eroadibilite değerine sahip topraklar, kısa süreli şiddetli yağışlarla dahi kolayca aşınabilir (Renard vd., 1997).

Erozyon: Toprak, kayaç ve diğer yüzey materyallerinin; su, rüzgâr, buz veya yer çekimi etkisiyle aşındırılması, taşınması ve başka bir yerde biriktirilmesi sürecidir. Doğal bir jeomorfolojik süreç olmakla birlikte, insan faaliyetleriyle hızlandığında toprak verimliliğini azaltabilir ve çevresel bozulmalara yol açabilir (Morgan, 2005).

Foliasyon: Metamorfik kayaçlarda, minerallerin yönlü basınç altında belirli düzlemler boyunca yeniden dizilmesiyle oluşan, tabakalı ya da yapraksı görünümlü dokusal yapıdır. Bu yapı, mika, klorit, grafit gibi tabakalı minerallerin paralel dizilimiyle belirginleşir. Foliasyon düzlemleri, çoğunlukla kayaçların sıkışma yönüne dik gelişir ve kayaçların kıvrımlanma, zonlanma gibi deformasyon süreçlerini yansıtır. Şist, fillit ve gnays gibi kayaçlarda yaygındır (Yardley, 1989).

Foraminifer: Denizel ortamlarda yaşayan, genellikle kalsiyum karbonattan yapılmış çok odacıklı kabuklara (test) sahip, tek hücreli (protist) mikrofosil canlılardır. Planktonik (su sütununda yüzen) ve bentik (deniz tabanında yaşayan) türleri bulunur.

Fosil kayıtları Paleozoik'ten günümüze kadar uzanır. Foraminiferler, yaşlandırma (biyostratigrafi), iklim rekonstrüksiyonu (izotop analizleriyle) ve denizel çökel ortamların yorumlanmasında yaygın olarak kullanılır (Loeblich ve Tappan, 1987).

Fusulin: Paleozoik dönemde, özellikle Karbonifer ve Permiyen devirlerinde yaşamış, tek hücreli ve büyük boyutlara ulaşabilen bentik (deniz tabanı) foraminifer grubudur. Milimetre ile birkaç santimetreye kadar uzayabilen iğ şeklindeki test (kabuk) yapıları, kireçtaşı formasyonlarında yaygın olarak fosilleşmiş şekilde bulunur. Fusulinler, yaşlandırma (biyostratigrafi) ve eski denizel ortamların yorumlanmasında değerli göstergelerdir. Onların varlığı, sıcak ve sığ karbonat platformlarını işaret eder (Loeblich ve Tappan, 1987).

Granodiyorit: Granit ile diyorit arasında yer alan, açık renkli ve iri kristalli bir derinlik magmatik kayaçtır. İçeriğinde plajiyoklaz feldispat oranı ortoklazdan fazladır; ayrıca kuvars, biyotit ve hornblend gibi mineraller de yaygındır. Granodiyoritler, kıtasal kabuklarda yaygın olup levha sınırlarında oluşan batolitlerin önemli bir kısmını oluşturur (Blatt vd., 2006).

Günlenme: Kayaçların atmosferik koşullar (sıcaklık değişimleri, su, oksijen, karbondioksit vb.) altında fiziksel, kimyasal ya da biyolojik süreçlerle ayrışarak bozulmasıdır. Bu süreç, kayaçların yüzeyinde başlayıp zamanla derinlere doğru ilerler. Fiziksel günlenme çatlakların genişlemesine, kimyasal günlenme ise minerallerin yapısal dönüşümüne neden olur (Summerfield, 1991).

Hyalopilitik Doku: Volkanik kayaçlarda, camsı (amorf) zemin hamuru içerisinde mikroskobik boyuttaki ince iğnemsi plajioklaz kristalleriyle daha iri mafik minerallerin dağınık halde yer aldığı dokusal yapıdır. Bu dokuda camsı kütle, ana yapı iskeletini oluştururken; kristaller camsı zemin içinde rastlantısal yönelimle dağılır. Hyalopilitik doku, genellikle bazalt ve andezit gibi hızlı soğuyan volkanik kayaçlarda görülür ve bu kayaçların genç ve ani kristallenme koşullarında oluştuğuna işaret eder (MacKenzie, 1982).

İnfiltrasyon: Yağış veya sulama ile yüzeye ulaşan suyun, yerçekimi ve toprak gözeneklerinin etkisiyle toprak profiline doğru sızması sürecidir. İnfiltrasyon hızı; toprak tekstürü, nem durumu, organik madde miktarı, yüzey örtüsü ve toprağın hidrolik iletkenliği gibi faktörlere bağlı olarak değişir. Yetersiz infiltrasyon, yüzey

akışını artırarak erozyon riskini büyütürken; yüksek infiltrasyon suyun yer altına geçişini kolaylaştırarak erozyonu azaltır (Ward ve Robinson, 2000).

Kapalılık (Arazi Kapalılığı): Belirli bir alanda toprak yüzeyinin bitki örtüsü tarafından ne ölçüde örtüldüğünü ifade eden bir ölçüttür. Yüzde cinsinden belirtilir ve bitki yoğunluğunu, tür çeşitliliğini ve ekolojik örtüyü yansıtır. Kapalılığı yüksek alanlarda yağışın toprakla doğrudan teması azaldığı için erozyon riski düşerken, düşük kapalılıkta yüzey akışı ve toprak kaybı artar (Bonham, 2013).

Klorit: Yeşil renkli, yapraksi (mikalı) yapıya sahip, düşük sıcaklıklı metamorfik ve hidrotermal ortamlarda oluşan alüminyum-magnezyum-ya da demirli silikat mineraller grubu (Deer vd., 1992).

Kolüvyal: Yer çekimi etkisiyle yamaçlardan aşağı doğru taşınan, genellikle açısal ve köşeli parçacıklardan oluşan heterojen tortul malzemedir. Mekanik ayrışma sonucu oluşan bu malzemeler, yağmur suyu, yer çekimi ve yüzey akışının etkisiyle taşınır. Kolüvyal örtüler, genellikle yamaç eteklerinde kalın tabakalar hâlinde birikir (Leeder, 2011).

Korazyon: Taşınan kum, çakıl ve silt gibi parçacıkların rüzgâr veya su etkisiyle yüzeylere çarpması sonucu meydana gelen mekanik aşındırma sürecidir. Rüzgârın etkili olduğu arid ve yarı-arid bölgelerde kaya yüzeylerinde cilalanma, oyuklaşma ve mantar kaya oluşumu gibi şekiller meydana gelirken; akarsularda korazyon, yatak malzemesinin sürtünme ve çarpma yoluyla kanal tabanı ve kenarlarını oymasıyla sonuçlanır (Tricart ve Cailleux, 1972).

Lahar: Volkanik alanlarda, yoğun yağış, kar erimesi ya da krater göllerinin boşalması sonucu volkanik kül, tüf, blok ve diğer piroklastik materyallerin suyla karışarak oluşturduğu çamur akıntısıdır. Akışkanlığı yüksek olan bu karışım, büyük hızlarla vadiler boyunca ilerleyerek hem doğal çevreyi hem de yerleşim alanlarını tehdit edebilir. Laharlar, genellikle piroklastik örtülerin yeniden mobilize edilmesiyle oluşur ve volkanik afetlerin en yıkıcı türlerinden biridir (Cas ve Wright, 1987).

Litofasiyes: Tortul kayaçların litolojik (taş yapısı) özelliklerine dayalı olarak tanımlanan, belirli bir çökelme ortamını temsil eden fasiyes türüdür. Tane boyu, mineralojik bileşim, renk, tabakalanma, sedimanter yapı ve fosil içeriği gibi gözlenebilir özellikler esas alınarak tanımlanır. Her litofasiyes, belirli bir depolanma enerjisi, taşınım ortamı ve çökelme koşulu hakkında bilgi verir. Litofasiyes analizleri,

stratigrafik korelasyon, paleocoğrafya ve geçmiş çevre koşullarının yorumlanmasında kritik rol oynar (Reading, 1996).

Olistostrom: Yer çekimi etkisiyle büyük ölçekli kütle hareketleri sonucunda, farklı köken, boyut ve şekillerdeki kaya bloklarının (olistolitlerin) ince taneli, çoğunlukla şeyl veya marn türü bir matriks içinde düzensiz biçimde yer aldığı, heterojen tortul kayaç topluluğudur. Olistostromlar genellikle derin deniz çökellerinde, tektonik yığışım zonlarında ve kapan kuşaklarında oluşur. Süreksiz ve karmaşık tabakalanmalarıyla tanınırlar. Jeodinamik evrimlerin ve eski tektonik ortamlardaki sedimantasyon süreçlerinin göstergesidir (Einsele, 2000).

Olistostromal: Tektonik olarak aktif alanlarda meydana gelen ve farklı boyut, köken ve yapıya sahip kaya bloklarının, ince taneli matriks içinde düzensiz şekilde karışarak oluşturduğu karmaşık tortul birimlerle ilgili terimdir. Bu tür birimler genellikle yer çekimi etkili kütle hareketleriyle, deniz altı heyelanları veya yanal sıkışma süreçleri sonucunda derin deniz ortamlarında birikir. Olistostromal birimler, çoğu zaman yanal süreksizlik gösteren, heterojen ve deformasyon izleri taşıyan karakteristik yapılardır (Einsele, 2000).

Oyuntu Erozyonu: Yüzey akışının belirli yollar boyunca yoğunlaşarak toprakta derin ve dar kanallar (oyuntular) oluşturduğu erozyon türüdür. Parmak erozyonundan daha ileri düzeyde olup, oluşan kanallar artık tarımsal faaliyetlerle kolayca kapatılamaz hâle gelir. Eğim, bitki örtüsü azlığı, geçirimsiz yüzeyler ve yoğun yağışlar bu süreci hızlandırır. Oyuntu erozyonu, arazinin topografyasını kalıcı şekilde değiştirebilir (Morgan, 2005).

Parmak Erozyonu: Yüzey erozyonunun ilerlemiş bir aşaması olup, yağmur sularının topoğrafyanın eğimi boyunca dar ve sığ kanallar açarak toprağı belirli hatlar üzerinde taşımasıyla oluşur. Bu oluklara benzeyen yapılar toprağın parmak gibi uzantılar hâlinde taşınmasına neden olur. Tarım alanlarında sık görülür ve toprak kaybının yanı sıra bitki köklerinin açığa çıkmasına da yol açabilir (Morgan 2005).

Petrografik: Kayaçların mineralojik bileşimini, dokusal özelliklerini ve iç yapısını inceleyen mikroskobik analizlerle ilgili olan terimdir. İnce kesitler üzerinden yapılan petrografik çalışmalar, kayaçların kökeni, evrimi ve sınıflandırılması hakkında ayrıntılı bilgi sağlar. Bu yöntem özellikle magmatik ve metamorfik kayaçların tanımlanmasında kullanılır (Nesse, 2012).

Porfirik Silisleşme: Porfirik dokulu magmatik kayaçlarda, özellikle kuvars ve feldispat fenokristallerinin yer aldığı zemin hamurunun hidrotermal etkilerle yoğun biçimde silis (SiO_2) ile doyurulması sonucu gerçekleşen alterasyon sürecidir. Bu süreçte kayaç hem tekstürel olarak porfirik yapısını korur, hem de silisleşme nedeniyle özgül ağırlık artışı, sertleşme ve renk değişimi gibi özellikler kazanır. Porfirik silisleşme, genellikle epitermal maden yataklarıyla ilişkili olup altere zonların belirlenmesinde önemli bir göstergedir (Guilbert ve Park, 1986).

Sediment: Fiziksel, kimyasal ya da biyolojik ayrışma süreçleriyle oluşan, yerinden koparılan ve su, rüzgâr, buz ya da yer çekimi aracılığıyla taşınıp başka bir yerde biriken gevşek katı materyallerdir. Çoğunlukla kum, silt, kil ve çakıl gibi tanelerden oluşur. Sedimentler, tortul kayaçların hammaddesi olmanın yanı sıra akarsu, göl ve deniz ortamlarında morfolojik gelişimi ve erozyon sürecini doğrudan etkileyen unsurlardır (Nichols, 2009).

Siltasyon: Akarsuların taşıdığı ince taneli tortul materyalin (özellikle silt boyutundaki parçacıkların), akımın yavaşladığı alanlarda (göl, baraj, delta, kanal vb.) çökerek birikmesi sürecidir. Bu birikim zamanla su yapılarının depo kapasitelerini azaltabilir, akarsu yatağını sığlaştırarak taşkın riskini artırabilir ve ekosistem dengesini bozabilir. Siltasyon, aynı zamanda barajların ekonomik ömrünü kısaltan başlıca morfolojik ve çevresel sorunlardan biridir (Morris ve Fan 1998).

Sinüsite: Dağların eteklerinde yer alan ve dağ cephesi boyunca uzanan alüvyal birikim kuşağının, zaman içinde düzensizleşip dalgalı bir form kazanmasıdır. Başlangıçta düz uzanan dağ önü kuşağı, akarsu erozyonu ve birikimi gibi süreçlerin etkisiyle içbükey-dışbükey kavisler oluşturarak "sinüzoidal" bir hat izlemeye başlar. Bu şekil değişikliği, özellikle aktif fay hatlarıyla ilişkili genç dağ kuşaklarının evriminde önemli bir jeomorfolojik göstergedir (Keller ve Pinter, 2002).

Spilitik Birim: Okyanus tabanı veya eski denizel ortamlarda oluşmuş, bazik lavların (özellikle bazalt) düşük dereceli metasomatik değişim geçirmesiyle oluşan, tipik olarak spilit alterasyonuna uğramış kayaç topluluklarını ifade eder. Bu birimlerde, özgün bazalt dokusu korunmakla birlikte klorit, albite, epidot ve kuvars gibi minerallerle zenginleşme görülür. Spilitik birimler, genellikle ofiyolit dizileri, denizel volkanik yaylar ve tektonik yığışım zonları içinde yer alır (Dilek vd., 2000).

Stromatolitik: Fotosentetik mikroorganizmaların (özellikle siyanobakterilerin) etkinliğiyle oluşan, tabakalı yapıya sahip tortul birikimlerle ilişkili olan yapısal özellikleri tanımlayan terimdir. Stromatolitik dokular, biyolojik faaliyetlerin tortul ortam üzerindeki etkisini yansıtan ve genellikle kireçtaşı formasyonlarında gözlenen laminalı, kubbemsi ya da sütunsu yapılar oluşturur. "Stromatolitik" ifadesi, bu yapıları içeren kayaç dokularını ya da fosil topluluklarını nitelendirmede kullanılır (Riding, 2000).

Tekstür: Bir kayaç ya da tortul materyalin tane boyu, şekli, yuvarlaklık derecesi ve bu tanelerin birbirine göre konumlarını ifade eden yapısal özelliktir. Sedimentolojide tekstür, malzemenin taşınma biçimi, ortam koşulları ve çökellerin enerji düzeyi hakkında bilgi verir. Toprak biliminde ise tekstür; kum, silt ve kil fraksiyonlarının oransal dağılımına bağlı olarak belirlenir ve toprağın su tutma kapasitesi ile geçirgenliğini doğrudan etkiler (Tucker, 2001).

Tüfit: Volkanik patlamalar sonucu havaya savrulan ve taşınıp tekrar çökelmiş olan piroklastik materyallerin (özellikle kül, lapilli ve volkanik cam parçalarının), tortul süreçlerle yeniden taşınarak birikmesiyle oluşan volkanosedimanter kayaç türüdür. Tüfitler hem volkanik hem de tortul özellikler gösterir; bu nedenle volkanik kül içeriğine ek olarak ince tabakalanma, düzeylenme ve yataklanma gibi sedimanter yapılar da sergileyebilirler. Genellikle göl, deniz veya akarsu ortamlarında çökelirler (Cas ve Wright 1987).

Zonal Toprak: İklim ve bitki örtüsü gibi bölgesel faktörlerin uzun süreli etkisiyle gelişen, horizonları belirgin şekilde farklılaşmış ve yerel jeolojik yapıdan çok zonal (bölgesel) koşullara bağlı olarak oluşmuş topraklardır. Bu topraklar, bir bölgenin karakteristik pedojenetik süreçlerini yansıttığı için o bölgenin iklim-toprak ilişkisini anlamada temel örneklerdir (Buol vd., 2011).

2. KURAMSAL ÇERÇEVE VE İLGİLİ ARAŞTIRMALAR

Bu araştırmanın kuramsal temelini oluşturan iki ana unsur bulunmaktadır: Erozyon süreçleriyle ilgili genel yaklaşımlar ve Ardıçtepe Barajı Havzası'nı kapsayan yerel çalışmalar. Toprak erozyonu, doğal süreçlerin yanı sıra insan etkisiyle de hızlanan, çevresel dengeleri bozarak tarımsal üretimden su kaynaklarına kadar geniş bir alanda etkili olan önemli bir jeomorfolojik olaydır. Bu nedenle, konuya ilişkin ulusal ve uluslararası çalışmaların değerlendirilmesi; yöntem seçimi, model kullanımı ve sonuçların yorumlanması açısından büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, araştırmanın yürütüldüğü Ardıçtepe Barajı Havzası özelinde yapılmış olan coğrafi, hidrolojik ve çevresel çalışmalar da bu araştırmanın bölgesel temelini oluşturmaktadır. Literatür taramasında, erozyon ile ilgili yapılan çalışmaların yöntemsel yaklaşımları ve çalışma sahasına ilişkin önceki araştırmalar birlikte ele alınmış, bu doğrultuda tez kapsamında iki temel alt başlık altında incelenmiştir. Bu kapsamda, öncelikle erozyon konusundaki çalışmalara, ardından da çalışma alanını kapsayan araştırmalara yer verilmiştir.

2.1. Erozyon İle İlgili Çalışmalar

Erozyon süreçlerinin arazi üzerinde doğrudan ölçülmesine yönelik ilk sistematik denemeler, Schumm (1956) tarafından gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarında, başlangıçta tahta malzemeden üretilmiş erozyon çubukları kullanılmış ve bu yöntemle saha bazında erozyon ölçümü yapılması hedeflenmiştir. Daha sonraki aşamalarda ise, özellikle dayanıklılık ve ölçüm hassasiyetini artırmak amacıyla demir çubuklar kullanılmaya başlanmıştır. Schumm, New Jersey, Perth Amboy'da, kırgıbayır (badlands) karakterindeki topografyada gerçekleştirdiği çalışmasında; Araziye dikey olarak yerleştirdiği metal çubukların zaman içerisindeki yüzeyle olan seviye farklarını ölçmüş ve bu veriler aracılığıyla yamaç morfolojisi, drenaj sisteminin evrimi ve erozyon süreçlerinin dinamikleri üzerine değerlendirmelerde bulunmuştur. Bu yöntem, zemin yüzeyinin doğal süreçlerle aşınması veya dolması sonucunda çubukların üst

kısımlarının zemine göre seviye değişimlerini ölçerek, erozyon hızının ve yöneliminin tespiti açısından önemli bir teknik olarak literatürde yerini almıştır.

Hadley ve Lusby (1967), Amerika Birleşik Devletleri'nin Colorado Eyaleti'nin batısında yer alan yaklaşık 5 hektarlık bir çalışma sahasında, erozyon süreçlerini yerinde gözlemlemek amacıyla saha ölçümleri gerçekleştirmişlerdir. Arazi üzerinde önceden belirlenmiş altı örnekleme alanına, 1,5 metre aralıklarla erozyon çubukları yerleştirilmiş ve bu çubuklar düzenli aralıklarla ölçülerek veriler toplanmıştır. Çalışma boyunca, çubukların üst kısımlarındaki seviye değişimleri dikkatle takip edilmiş; yüzeyde meydana gelen aşınım (erozyon) ve sedimantasyon (birikim) süreçlerinin miktarı, bu ölçümlere dayanarak hesaplanmaya çalışılmıştır. Böylece, doğal süreçlerin arazi üzerindeki etkilerini nicel verilerle ortaya koymayı amaçlayan bu çalışma, erozyon çubuklarının arazi analizinde nasıl etkin bir araç olabileceğini göstermesi bakımından literatürde önemli bir yere sahip olmuştur.

Erozyon ve sediment taşınımı üzerine yapılan uluslararası çalışmalar arasında önemli bir yere sahip olan PSIAC (1968) raporu, MPSIAC yönteminin temelini oluşturarak bu alandaki bilimsel uygulamalara yön vermiştir. Hazırlanan bu raporda, Pasifik Güneybatı Bölgesi'nde sediment verimini etkileyen faktörler ve erozyon ile sediment veriminin azaltılmasına yönelik önlemlerin seçimi ve değerlendirilmesi ele alınmıştır. Çalışmada, erozyon ve sediment taşınım süreçlerinin anlaşılması için kritik öneme sahip dokuz temel parametre tanımlanmış ve bu parametreler üzerinden sediment verimini tahmin etmeye yönelik bir metodoloji geliştirilmiştir. Bu rapor, özellikle kurak ve yarı kurak bölgelere özgü erozyon süreçlerini değerlendiren ve sediment kontrolüne yönelik uygulamalara ışık tutan MPSIAC yönteminin temelini oluşturan kaynak niteliğindedir. Amerikan İnşaat Mühendisleri Derneği (ASCE) bünyesinde yürütülen bu çalışma, havza yönetimi, sediment kontrolü ve erozyon analizlerinde uluslararası literatürde geniş kabul görmüş önemli bir başvuru kaynağı olarak öne çıkmaktadır.

Kirkby ve Morgan'ın (1980) çalışması, toprak erozyonunu etkileyen faktörlerin teorik altyapısını ortaya koyarak MPSIAC'ta kullanılan parametrelerin bilimsel temelini açıklamıştır. Erozyon sürecine ilişkin fiziksel modellerin ve havza ölçeğinde erozyon dinamiklerinin anlaşılmasına yönelik katkılar sunan eser, MPSIAC'ın analitik yaklaşımlarına da ışık tutmuştur.

Goldman vd. (1986) “Erosion and Sediment Control Handbook” adlı eserde, MPSIAC yöntemi kapsamında sediment kontrolü ve mühendislik uygulamaları ele alınmış; yöntem özellikle baraj havzaları ve altyapı projelerinde erozyonun önlenmesine yönelik uygulamalı yöntemler açısından değerlendirilmiştir. Çalışmada, MPSIAC’ın karar destek süreçlerinde kullanılabilecek bir yöntem olduğu vurgulanmış ve saha uygulamalarına yönelik önerilere yer verilmiştir.

Doğan (1987), “Türkiye Yağışlarının Erosiv Potansiyelleri” adlı çalışmasında, özellikle su erozyonunun en etkili faktörü olan yağışların erosiv potansiyelinin bilinmesinin, toprak koruma çalışmalarında büyük önem taşıdığını vurgulamıştır. Araştırmacı, toprak korumaya yönelik alınacak bitkisel, kültürel ve fiziksel önlemlerin belirlenmesi ile bunların ekonomik açıdan planlanması sürecinde, yağışların erosiv potansiyelinin miktarının ve yıl içindeki dağılımının bilinmesinin gerekliliğini ifade etmiştir. Bu doğrultuda, “Yağışların Erosiv Potansiyellerinin Hesaplanması ve Türkiye Yağışlarının Erosiv Potansiyelleri” başlıklı çalışmasını 1972 yılında hazırlayan Doğan, ilk aşamada 1957–1969 yılları arasındaki 13 yıllık meteorolojik rasatlara dayalı olarak 55 meteoroloji istasyonundan elde edilen 10.485 yağış diyagramını incelemiştir. Ancak bu verilerin toprak muhafaza yapılarının planlanması için yetersiz olduğu kanaatine varan araştırmacı, çalışmasını genişleterek Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü arşivlerinden sağladığı 1975–1982 yıllarını kapsayan 25 yıllık döneme ait 23.319 yağış diyagramını ayrı ayrı değerlendirmiştir. Çalışma sonucunda, Türkiye’nin yağış erozyon indeksleri, bu indekslere bağlı sınıflamalar ve iso-erodent haritası hazırlanarak, ülke genelinde yağışların erozyon üzerindeki etkisinin bölgesel farklılıklarını ortaya koymuştur.

Fabri (1991), ETKE (Erozyon Tehlike Katsayısı) yöntemi ve çeşitli basit arazi testlerinden yararlandığı çalışmasında, toprak erozyonundan kaynaklanan toprak kaybının değerlendirilmesinde uzaktan algılama verileri ile CBS kullanılabilirliğini test etmiştir. Araştırmada, erozyonla ilişkili parametrelerin belirlenmesinde uzaktan algılama verileri destekleyici bir unsur olarak kullanılmış; elde edilen bulgular CBS ortamına aktarılmış ve çok temalı bilgisayar tabanlı modeller aracılığıyla görselleştirilmiştir.

Çullu ve Dinç (1994), uzaktan algılama verilerinin özellikle arazi kullanımındaki değişikliklerin belirlenmesi ve bu değişikliklerin toprak kaybı üzerindeki etkilerinin analiz edilmesinde önemli bir yöntem olduğunu ifade

etmişlerdir. Çalışmalarında, farklı erozyon derecelerinin yansıma değerleri üzerinden yorumlanması, arazi kullanımındaki güncel durumun haritalanması ve bitki örtüsünün alanı ile yoğunluğunun tespiti amacıyla Landsat TM verilerinden 3., 4. ve 5. bant kombinasyonunu kullanmışlardır.

Öztürk (1995), Landsat 5 TM uydu verilerinin stereoskopik görüntüleme açısından sınırlılıklar taşıdığını, ancak bu dezavantajın, 1:25.000 ölçekli topoğrafik haritalardan CBS teknikleri kullanılarak elde edilen sayısal yükseklik modelleri ve eğim haritalarıyla giderilebileceğini ortaya koymuştur. Araştırmada, sayısal yükseklik modeli, eğim haritaları ve kontrolsüz (unsupervised) sınıflandırma yönteminin birlikte kullanılmasıyla, arazi özelliklerini daha doğru yansıtan taslak toprak haritalarının üretilebildiği belirtilmiştir. Bu çalışma, uzaktan algılama verilerinin arazi analizi ve toprak haritalaması süreçlerindeki önemine dikkat çekmesi açısından değerli bir katkı sağlamıştır.

Yu ve Rosewell (1996a), yağış erozitivitesini (R faktörü) tahmin etmek amacıyla günlük yağış verilerini esas alan bir modeli, Avustralya'nın Yeni Güney Galler eyaletinde bulunan 29 farklı sahada test etmişlerdir. Modelin gerçek ölçümlerle elde edilen mevsimsel dağılımlar ile tahmin edilen değerler arasındaki ortalama farkın %3'ün altında olduğu belirlenmiş ve modelin mevsimsel yağış erozitivitesi tahminlerinde güvenilir sonuçlar verebileceği vurgulanmıştır. Aynı araştırmacılar, Yu ve Rosewell (1996b) tarafından gerçekleştirilen bir diğer çalışmada ise, güney Avustralya'da yer alan 99 bölge için R faktörünü ve mevsimsel dağılımlarını tahmin etmek üzere günlük yağış verileri kullanılmıştır. Bu çalışmalar, R faktörünün yerel ve bölgesel ölçekte tahmini açısından yağış verilerinin ne kadar önemli olduğunu ortaya koyması bakımından dikkat çekicidir.

Doğan ve Küçükçakar (1997), "PAP/RAC/UNEP Erozyon Haritalama ve Ölçme Programı" kapsamında, ICONA teknik desteği ve FAO iş birliğiyle Türkiye'nin Güneybatı Akdeniz kıyı bölgesinde yer alan, yaklaşık 300 km² büyüklüğündeki Eşen Havzası'nda erozyon durumunu belirlemeye yönelik bir haritalama çalışması gerçekleştirmişlerdir. Bu uluslararası program kapsamında Türkiye'nin yanı sıra Tunus ve İspanya'da da benzer uygulamalar yürütülmüştür. Çalışmada, 1:25.000 ölçekli topoğrafik haritalar ile 1989 yılına ait hava fotoğraflarından faydalanılarak erozyon haritaları üretilmiş; elde edilen sonuçlar farklı detay seviyelerine uygun olarak 1:25.000, 1:100.000, 1:200.000 ve 1:400.000 ölçeklerinde haritalandırılmıştır. Bu

araştırma, bölgesel erozyonun coğrafi dağılımını haritalamak ve farklı ölçekteki planlamalara temel oluşturmak açısından önemli katkılar sağlamıştır.

Evans ve Seamon (1997), gerçekleştirdikleri projede sediment taşınım oranlarının belirlenmesi ve drenaj havzası içerisinde depolanan sediment miktarının hesaplanabilmesi amacıyla CBS tabanlı bir erozyon modeli geliştirmişlerdir. Bu modelin ardından, drenaj havzasının karakteristik özelliklerini tanımlamak ve sedimentin taşınma süreçlerini izlemek amacıyla sediment takip modeli (sediment routing model) tasarlamışlardır. Bu çalışmalar, sediment dinamiklerinin mekânsal olarak modellenmesi ve havza bazında sediment hareketinin analizi açısından literatüre önemli katkılar sağlamıştır.

Hamerlynck vd. (2002) "Regional Applications of Erosion Models in Mediterranean Environments" isimli çalışmada, MPSIAC modelinin İran, Fas ve Türkiye gibi Akdeniz iklim kuşağındaki uygulamalarını ele almış ve yöntemle elde edilen sonuçların bölgesel farklılıklarını ortaya koymuştur. Farklı coğrafyalarda MPSIAC kullanımına ilişkin saha verileri sunarak modelin uygulanabilirliğine dair önemli bulgular ortaya koymuştur.

Boggs vd. (2001), YETKE (Yağış Erozyon Tehlike Katsayısı Eşitliği) modelini sadeleştirerek, detaylı erozyon modelleme planları için yol gösterici nitelikte bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Araştırmada, eğim faktörünün arazi verilerinin doğruluğu ve erozyon tahmini üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Ayrıca, Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) kullanımının, hızlı erozyon tahminleme modellerinin doğruluğunu önemli ölçüde artırdığı ortaya konulmuştur. Çalışma sonuçlarına göre, veri çözünürlüğü azaldıkça model çıktılarının geniş alanlarda daha yüksek, dar alanlarda ise daha düşük doğruluk gösterdiği belirlenmiştir. Arazi verileriyle yapılan karşılaştırmalar sonucunda, detaylı çalışmalar için 100 metrelik SYM verisinin uygun çözünürlük sağladığı ifade edilmiştir. Bu araştırma, erozyon modellemelerinde veri çözünürlüğü ve topografik faktörlerin etkisine yönelik önemli bulgular sunmuştur.

Tarhan (2002), tarafından kaleme alınan "Mühendislik Jeolojisi Prensipleri" adlı kitap mühendislik jeolojisi disiplinine dair temel kavramları sistematik ve bütüncül bir yaklaşımla ele alan, alanında öncü bir eserdir. Bu kaynak, özellikle mühendislik yapılarının jeolojik etkenlerle ilişkisini bilimsel zemine oturtması açısından büyük önem taşımaktadır. Tez çalışması kapsamında, kayaçların

mühendislik amaçları için sınıflandırılması (3. bölüm) ve baraj jeolojisi (5. bölüm) konularında detaylı bilgiler sunması nedeniyle eserden yoğun biçimde yararlanılmıştır. Kayaçların orijinlerine, bileşimlerine ve mühendislik özelliklerine göre sınıflandırılmasının yanı sıra, baraj tipi seçimi, yer seçimi kriterleri, litolojik özelliklerin baraj güvenliğine etkisi ve baraj gövdesine etki eden kuvvetler gibi başlıklar, Ardıçtepe Baraj Havzası özelinde yapılan değerlendirmelere bilimsel zemin oluşturmuştur. Bu bağlamda eser, hem teorik bilgiyi hem de mühendislik uygulamalarına yönelik pratikleri birleştirerek, tez çalışmasının temel literatür kaynaklarından biri olmuştur.

Saynor vd. (2003), Avustralya'da bulunan Ngaradag Havzası'nda, saha temelli ölçümlerle erozyon süreçlerini analiz etmek amacıyla erozyon çubukları yöntemini kullanmışlardır. Araştırmalarında, özellikle farklı iklimsel dönemlerde meydana gelen yüzey değişimlerini inceleyebilmek adına, erozyon çubuklarıyla arazi üzerinde düzenli ölçümler yapılmıştır. Çalışma kapsamında, yağışlı dönemlerde gözlemlenen erozyon miktarları ile kurak (yağışın düşük olduğu) dönemlerdeki erozyon oranları karşılaştırılmıştır. Böylece, yağış rejiminin erozyon süreçleri üzerindeki etkisi, sahadan elde edilen verilerle nicel olarak ortaya konmaya çalışılmıştır. Bu çalışma, iklim koşullarına bağlı olarak değişen erozyon dinamiklerinin sahada nasıl izlenebileceğini göstermesi bakımından, özellikle mevsimsel erozyon analizi yapan araştırmacılar için önemli bir örnek teşkil etmektedir.

Peppler ve Fitzpatrick (2004), Amerika Birleşik Devletleri'nde yer alan Fever Nehri kıyısındaki çayırlarla kaplı alanlarda, aşırı otlatma faaliyetlerinin bank (kıyı) erozyonu üzerindeki etkisini incelemek amacıyla saha çalışmaları gerçekleştirmişlerdir. Bu amaçla, erozyon çubukları yöntemi kullanılarak, nehir kenarındaki arazilerde yapılan ölçümlerle otlatma yoğunluğu ile bank erozyonu arasındaki ilişki değerlendirilmiştir. Araştırma sonucunda, mera hayvancılığı yapılan alanlarda, özellikle yoğun otlatmanın gerçekleştirildiği kesimlerde bank erozyonunun daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, otlatma nedeniyle bitki örtüsünün azalması sonucu zemin direncinin düşmesi ve bank erozyonunun hızlanmasıyla açıklanmaktadır.

Cürebal ve Ekinci (2006), "Kızılkeçili Deresi Havzasında CBS Tabanlı RUSLE (3D) Yöntemiyle Erozyon Analizi" başlıklı çalışmalarında, yüksek ve çok yüksek oranda toprak kaybının gerçekleştiği alanların; zemin örtüsünün bulunmadığı açık

araziler, vadi yoğunluğunun ve eğim değerlerinin yüksek olduğu kesimler ile ince taneli ve kolayca taşınabilen toprakların yayılım gösterdiği sahalarla örtüştüğünü ortaya koymuşlardır. Bu etkenlerin bir arada bulunmasının, taşınan toprak miktarını önemli ölçüde artırdığı vurgulanmış; bu durum, erozyon süreçlerinin mekânsal analizi açısından dikkate değer sonuçlar sunmuştur.

De Jong (2006), toprak erozyonu modellemesinde vejetasyonla ilişkili parametrelerin belirlenmesinde Landsat TM uydu görüntülerinin potansiyel kullanımını değerlendirmiştir. Güney Fransa'da gerçekleştirilen çalışmada, dört farklı nicel yöntem — Fosberg Strüktürel Sınıflama Sistemi, ETKE kapsamında örtü ve yönetim faktörü, Yaprak Alan İndeksi (LAI) ve Toplam Yüzde Örtü — kullanılarak 33 farklı arazi parseli üzerinde analizler yapılmıştır. Araştırma sonucunda, farklı vejetasyon belirleme yöntemleri arasında yalnızca küçük ölçekli farklılıklar saptanmış; buna karşın Landsat TM uydu görüntülerinin, toprak erozyonu modellemelerinde vejetasyon parametrelerinin belirlenmesi sürecinde önemli kolaylıklar sağladığı ortaya konulmuştur. Çalışma, özellikle uzaktan algılama verilerinin erozyon analizlerinde kullanım potansiyeline vurgu yapması açısından dikkat çekicidir.

Efe vd. (2008a), "Erosion Analysis of Şahin Creek Watershed (NW of Turkey) Using GIS Based on RUSLE (3D) Method" başlıklı çalışmalarında, Şahin Deresi Havzası'nda potansiyel erozyon riskinin belirlenmesi ve uzun vadeli erozyon ortalamalarının tahmin edilmesini amaçlamışlardır. Bu kapsamda, CBS ortamında RUSLE (3D) modeli uygulanmış ve elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir. Çalışmada, havzanın özellikle kuzey kesiminde yer alan yaylalar ile batı bölümündeki basamaklı yamaçlarda erozyonun daha yoğun olarak gerçekleştiği tespit edilmiş; bu durum, havzanın topoğrafik özelliklerinin erozyon süreci üzerindeki belirleyici etkisini ortaya koymuştur.

Efe vd. (2008b), "Erosion Analysis of Fındıklı Creek Catchment (NW of Turkey) Using GIS Based on RUSLE (3D) Method" başlıklı çalışmalarında, Fındıklı Deresi Havzası'nda gerçekleştirilen analizler sonucunda, erozyon yoğunluğunun şev eğimi ile her zaman doğru orantılı olmadığını ortaya koymuşlardır. Araştırmada, erozyonun yalnızca bitki örtüsünün zayıf olduğu dik yamaçlarda değil, aynı zamanda çorak toprakların bulunduğu alanlarda da yüksek oranlarda görüldüğü belirlenmiştir. Ayrıca, düzgün eğimli arazilerde, killi toprakların kumlu topraklara kıyasla daha

aşınabilir olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada elde edilen önemli bulgulardan biri de RUSLE (3D) modelinin erozyon tahmininde başarılı sonuçlar verdiğinin ortaya konmasıdır. Bu sonuçlar, erozyon süreçlerinde yalnızca topoğrafyanın değil, toprak özellikleri ve bitki örtüsünün de belirleyici faktörler olduğuna dikkat çekmiştir.

Hancock (2008), "The Measurement and Modelling of Rill Erosion at Angle of Repose Slopes in Mine Spoil" başlıklı çalışmasında, bitki örtüsünün tahrip edildiği tarım arazilerinde meydana gelen rill (parmak) erozyonu süreçlerini araştırmıştır. Çalışmada, özellikle bitki örtüsünün ortadan kalkmasıyla birlikte yüzeyin korunmasız kalmasının, yağış ve yüzey akışıyla birlikte rill erozyonunun hızlanmasına yol açtığı ortaya konmuştur. Araştırma bulgularına göre, bu tür arazilerde taşınan sediman miktarı önemli ölçüde artmakta, böylece toprak kaybı hem miktar hem de hız açısından ciddi boyutlara ulaşmaktadır. Bu durum, erozyon riskinin bitki örtüsünün varlığıyla doğrudan ilişkili olduğunu bir kez daha vurgulayan önemli saha verilerinden biri olarak değerlendirilmektedir.

Ulusay'ın (2010) "Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler" adlı eseri, Türkiye'de mühendislik jeolojisi ve jeoteknik uygulamalar alanında yazılmış en kapsamlı kaynaklardan biridir. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası tarafından yayımlanan bu kitap, jeoteknik bilginin uygulama sahasındaki karşılıklarını ayrıntılı biçimde ele almakta ve literatürdeki özgün konumunu güçlü biçimde ortaya koymaktadır. Özellikle MPSIAC modelinde temel bileşenlerden biri olan anakaya jeolojisine ilişkin yapılan değerlendirmelerde, kayaçların bozunma derecesi (Bölüm 2) ve dayanım parametreleri konusunda yaygın kullanılan Schmidt çekici deneyi (Bölüm 7) gibi sahaya dönük yöntemler doğrudan bu çalışmadan yararlanılarak açıklanmıştır. Ulusay'ın kitabı yalnızca teknik bilgi sunmakla kalmayıp, aynı zamanda mühendislik projelerinde karşılaşılan zemin-kaya problemi çözümlerine dair sistematik bir yaklaşım önererek, bilimsel çalışmalarda güvenilir bir başvuru kaynağı haline gelmiştir. Bu yönüyle çalışma, Ardıçtepe Baraj Havzası özelinde gerçekleştirilen erozyon risk değerlendirmesine mühendislik jeolojisi açısından sağlam bir altyapı sunmuş ve uygulamalı yaklaşımıyla alan araştırmalarının yönünü belirlemede etkili olmuştur.

Cürebal vd. (2012), "Üç Boyutlu Modelleme Kullanılarak Siltasyon Miktarının Ölçülmesi: Çaygören Barajı Örneği" başlıklı bildirilerinde, Türkiye'de baraj planlaması aşamasında yaygın olarak kullanılan 50 yıllık ekonomik ömür

standartlarının, siltasyonun gerçek boyutunu çoğu zaman tam olarak yansıtmadığına dikkat çekmişlerdir. Çalışmada, planlama sürecinde dikkate alınan tahmini sediment verim değerleri ile gerçek verimler arasında önemli ölçüde farklılıklar görüldüğü ve bu durumun rezervuarların öngörülen süreden daha kısa sürede dolmasına yol açabileceği ortaya konulmuştur. Öte yandan, bazı rezervuarlarda ise planlanan süreden daha düşük siltasyon miktarlarının tespit edildiği belirtilmiştir. Bu çalışma, siltasyon süreçlerinin havza bazlı detaylı modelleme ile değerlendirilmesinin, baraj ömrü tahminlerinde daha gerçekçi sonuçlar elde edilmesine katkı sağlayacağını ortaya koymuştur.

Ilanloo (2012), Amerika Birleşik Devletleri'nde PSIAC tarafından kurak ve yarı kurak bölgelerde 10 mil kareden daha büyük havzalar için geliştirilen MPSIAC Modeli'ni, İran'ın Gamasiab Havzası üzerinde uygulamıştır. Çalışmada, erozyon ve sediment üretimine yönelik tahminler, CBS aracılığıyla 123 homojen bölgeye ayrılan havza verilerinden türetilmiş ve bu doğrultuda MPSIAC modeli kullanılmıştır. Model kapsamında dokuz parametrenin erozyon üzerindeki etkisi değerlendirilmiş; bu parametreler belirli katsayılarla çarpılarak toplam skorlar elde edilmiş ve sonuçta erozyon risk haritaları oluşturulmuştur. Kullanılan parametreler şunlardır: anakaya, toprak, iklim, akarsu drenaj yoğunluğu, topografya, bitki örtüsünün yüzey kapalılığı, arazi kullanımı, kanal erozyonu ve yüzey erozyonu sahaları. Modelleme sonucunda, Hemedan ve Kermanşah bölgeleri arasında kalan Gamasiab Havzası'nda, erozyon sınıflandırması beş ayrı kategori altında değerlendirilmiştir. Kilometrekare başına yıllık 2.500 ton (1.453 m^3) sediment üretiminin üzerinde olan alanlar çok yüksek erozyon riski taşıyan sahalar olarak belirlenirken; yıllık 200 tonun altında (95 m^3) sediment üretimi gerçekleşen alanlar ise çok düşük erozyon riski taşıyan bölgeler olarak sınıflandırılmıştır. Çalışmanın sonucunda, havzanın doğu ve güneydoğu kesimlerinde eğimlerin fazla olması, toprak derinliğinin azlığı, hayvancılık faaliyetleri ve marn formasyonlarının varlığı nedeniyle erozyon oranlarının yüksek olduğu; buna karşın güney kesimlerde tarımsal faaliyetlerin yaygınlığı ve daha düşük eğim değerleri sebebiyle erozyonun düşük seviyelerde seyrettiği tespit edilmiştir. Bu araştırma, MPSIAC modelinin farklı fiziki coğrafya koşullarındaki uygulanabilirliğini ortaya koyan örneklerden biri olarak dikkat çekmektedir.

Najm vd. (2013), İran'da özellikle kurak ve yarı kurak bölge koşullarında karşılaşılan toprak erozyonu, sediment üretimi ve havza degradasyonu problemlerine

yönelik olarak, MPSIAC yöntemi kullanarak önemli bir çalışma gerçekleştirmiştir. Araştırmada, sediment üretimi ve sedimantasyon haritalarının oluşturulması amacıyla, MPSIAC modelini oluşturan dokuz parametre ArcGIS ortamında dijitalleştirilmiş ve bu parametrelerin birlikte değerlendirilmesiyle erozyon duyarlılık haritası hazırlanmıştır. Çalışma sahası olarak İran'ın kuzeyinde yer alan Afjeh ve Lavarok bölgeleri seçilmiş olup, bu alanlarda şistli, kumtaşı, konglomera ve tüflü formasyonların başkalaşım kayaçlarına oranla daha geniş alanlar kapladığı belirlenmiştir. Elde edilen bulgulara göre, şist, marn, tüf ve alüvyon birikim sahalarına ait havzalar ile Karaj ve Kuvaterner sediment formasyonları arasında erozyon hassasiyeti bakımından belirgin korelasyonlar saptanmıştır. MPSIAC modellemesi sonucunda, inceleme alanının %75'ten fazlasının IV. sınıf erozyon kategorisinde yer aldığı belirlenmiş; Afjeh'de yıllık 769,3 m^3/km^2, Lavarok'ta ise 583,2 m^3/km^2 sediment üretimi gerçekleştiği tespit edilmiştir. Ayrıca, yapılan çizgisel regresyon analizi sonucunda, MPSIAC modeli parametreleri ile erozyon üzerinde etkili olan en önemli iki faktörün jeolojik yapı ve toprak erodibilitesi olduğu ve bu faktörler arasında anlamlı bir korelasyon bulunduğu ortaya konulmuştur. Bu çalışma, MPSIAC yönteminin sediment üretimi ve erozyon risk analizinde etkili bir araç olduğunu gösteren önemli örneklerden biri olmuştur.

Doneshfaraz (2016), dünyanın birçok bölgesinde olduğu gibi, havzalar açısından en önemli çevresel sorunlardan biri olan toprak erozyonu ve bunun barajlardaki sediment birikimi üzerindeki olumsuz etkilerine dikkat çekmiş ve bu kapsamda İran'ın Doğu Azerbaycan Bölgesi'nde yer alan Aidoghmoush Havzası'nda bir çalışma gerçekleştirmiştir. Uzaktan algılama teknikleri ve CBS kullanılarak yürütülen bu araştırmada, MPSIAC modeli uygulanmış ve modele ilişkin parametreler uydu görüntüleriyle birlikte değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, havzada her yıl 251 milyon kilogram toprağın su erozyonu yoluyla taşındığı belirlenmiş; bu da kilometrekare başına 251 ton/yıl sediment kaybı anlamına gelmektedir. Çalışmada, sedimentasyon üzerinde en etkili kontrol faktörlerinin eğim ve arazi yüzey kapalılığı olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, belirlenen hidrolojik üniteler (HUx) içerisinde, HU1 ve HU4'ün yıllık sediment miktarının en yüksek olduğu ve bu nedenle çok kritik havzalar olarak değerlendirildiği belirtilmiştir. Buna karşılık, HU3 numaralı hidrolojik havza ünitesinin ise en düşük sediment üretim oranına sahip olduğu ifade edilmiştir.

Bu çalışma, MPSIAC modelinin farklı bölgesel havzalardaki sediment yönetimi ve erozyon risk analizi için etkin bir yöntem olduğunu ortaya koymuştur.

Avcı (2016), Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan Murat Nehri'nin kollarından biri olan Gökdere Havzası'nda erozyon duyarlılığına yönelik bir analiz çalışması gerçekleştirmiştir. Çalışmada, eğim, bitki örtüsü, litoloji, drenaj yoğunluğu ve toprak tekstürü olmak üzere beş farklı parametre, ağırlıklı çakıştırma yöntemi kullanılarak ArcGIS ortamında analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, inceleme alanının batı ve kuzeybatı kesimlerinde erozyonun şiddetli olduğu belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, yüksek erozyon duyarlılığına sahip alanların toplam arazinin %22'sini oluşturduğu, orta duyarlılık düzeyine sahip alanların ise %33'lük bir kısmı kapsadığı ifade edilmiştir. Araştırmada, eğim, bitki örtüsü, litoloji ve drenaj yoğunluğunun erozyon üzerinde belirleyici faktörler olduğu ortaya konulmuştur. Özellikle eğim değerlerinin yüksek olduğu, bitki örtüsünün zayıf kaldığı veya kurak meşe ormanlarının tahrip edildiği bölgelerde ve anız yakma gibi yanlış arazi kullanımı uygulamalarının görüldüğü sahalarda erozyon duyarlılığının arttığı tespit edilmiştir. Erozyon sonucu taşınan sedimentlerin Beyhan I Barajı'na taşındığı ve tarımsal arazilere zarar verdiği belirlenmiş; bu nedenle, söz konusu sahalarda erozyon kontrolü ve önleyici tedbirlerin alınması gerektiği vurgulanmıştır. Çalışma, havza yönetimi ve toprak koruma uygulamalarına yönelik önemli öneriler içermektedir.

Atalay (2018), "Uygulamalı Hidrografya" adlı eserinde, Cürebal ile birlikte kaleme aldığı "Türkiye'de Erozyonu Önleme ve Erozyon Miktarını Belirlemeye Yönelik Çalışmalar" başlıklı bölümde, Türkiye'de geçmişten günümüze erozyon araştırmalarında kullanılan yöntemleri ve akarsu havzalarında erozyon miktarının belirlenmesine yönelik gerçekleştirilen çalışmaları kapsamlı bir şekilde ele almıştır. Çalışmada, erozyon analizlerine temel oluşturan ilk denklemler üzerinde durulmuş; ayrıca RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) yönteminin uygulanma aşamaları ve modelleme sürecinde dikkat edilmesi gereken hususlar detaylandırılmıştır. Bu bölüm, hem Türkiye'deki erozyon çalışmalarına tarihsel bir bakış sunması hem de uygulamalı yöntemlerin açıklanması açısından literatürde önemli bir kaynak niteliği taşımaktadır.

Mutlu ve Soykan (2018), "RUSLE (3D) Modeli Kullanılarak Toprak Erozyonu Tahmini: Havran Çayı Örneği" başlıklı çalışmalarında, erozyona etki eden faktörleri değerlendirmiş ve yapılan arazi gözlemleri sonucunda, zemin örtüsü özellikleri ile

yağış faktörünün erozyon üzerinde en belirleyici unsurlar olduğunu ortaya koymuşlardır. Araştırmada, özellikle yanlış arazi kullanımına bağlı olarak bitki örtüsünün tahrip edildiği alanlar ile yağış miktarının yüksek olduğu bölgelerde erozyonun da daha yoğun gerçekleştiği tespit edilmiştir. Ayrıca, vadi yoğunluğunun fazla olduğu ve buna bağlı olarak eğim değerlerinin yüksek seyrettiği alanlarda, kolayca aşınabilen toprak özelliklerinin etkisiyle erozyon oranlarının arttığı belirlenmiştir. Bu çalışma, havza ölçeğinde erozyon riskinin belirlenmesinde arazi kullanım biçimi, bitki örtüsü durumu ve topoğrafik özelliklerin birlikte değerlendirilmesinin önemine vurgu yapmıştır.

Fıçıcı (2021), "Madra Barajı Havzası'nda Erozyon Analizi" başlıklı doktora çalışmasında, Türkiye'de erozyon çalışmalarına yeni bir yöntem kazandırma ve bu yöntemin sonraki araştırmalarda kullanılmasına katkı sağlama hedefiyle MPSIAC modelini uygulamıştır. Çalışmada, MPSIAC yöntemi ile elde edilen sonuçlar, yaygın olarak kullanılan RUSLE modeliyle karşılaştırılmış ve iki modelin çıktıları değerlendirilmiştir. Sonuçlar, her iki yönteme göre de Madra Barajı Havzası'nda erozyon şiddetinin orta düzeyde olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, havzada hesaplanan yıllık toprak kaybı miktarlarının, Türkiye genelinde gözlemlenen ortalama toprak kaybı değerlerinin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Bu çalışma, MPSIAC yönteminin Türkiye'deki erozyon analizlerinde uygulanabilirliğini ortaya koyması bakımından önemli bir akademik katkı sağlamıştır.

Özşahin'in erozyon konusundaki çok sayıda bilimsel çalışması bulunmaktadır (2014, 2016a, 2016b, 2016c, 2018, 2019, 2021, 2023). Bu çalışmalar arasında özellikle "Karşılaştırmalı Erozyon Tahmin Modellerine Göre Akarsu Sedimantasyon Miktarının Belirlenmesine Bir Örnek: Naip Barajı Havzası (Tekirdağ, Türkiye)" başlıklı (2023) çalışması dikkat çekmektedir. Bu araştırmada, hem Naip Barajı'nın dolma süresi hakkında öngörülerde bulunulmuş hem de sürdürülebilir havza ve baraj yönetimi açısından önemli veriler sunulmuştur. Çalışma kapsamında 2015–2021 yılları arasında toplam 6445,62 ton sediment taşındığı tespit edilmiş ve bu miktarın baraj rezervuar hacminin %11,95'ini doldurduğu belirlenmiştir. Araştırmada, çok hafif erozyon riskine sahip alanlarda bile yanlış arazi kullanımıyla birlikte eğimli yamaçlarda erozyonun şiddetinin artabildiği ortaya konulmuştur. Ayrıca, evrensel toprak kaybı denklemi (USLE), revize edilmiş (RUSLE) ve modifiye edilmiş (MUSLE) versiyonlarının, akarsu sedimantasyon miktarının ve baraj rezervuarlarındaki sediment

birikimi süreçlerinin belirlenmesinde pratik bir şekilde kullanılabileceği vurgulanmıştır. Çalışmanın sonuçları, baraj yönetimi, sedimantasyon kontrolü ve rezervuar ömrünün uzatılması yönünde karar vericiler için önemli bir rehber niteliği taşımaktadır.

Uluslararası afet literatüründe ve EM-DAT gibi küresel afet veri tabanlarında, zamana yayılan ve kademeli olarak gelişen dinamik yapısı nedeniyle toprak erozyonu çoğunlukla bağımsız bir afet sınıfı olarak değerlendirilmemektedir. Bununla birlikte, erozyon süreçleri havza ekosistemlerinde toprak kaybı, sediment taşınımı ve birikimi gibi süreçleri hızlandırarak doğal kaynaklar ve insan faaliyetleri üzerinde çok boyutlu etkiler oluşturabilmekte ve farklı çevresel risklerin ortaya çıkmasına zemin hazırlayabilmektedir. Nitekim Ilgar (2023), "Doğal Afetler ve Afet Yönetimi" isimli eserinde, doğal sistemlerin taşıma kapasitesinin ve fiziksel süreçlerin işleyişinin göz ardı edildiği hatalı insan faaliyetlerinin, doğal olayların yıkıcı etkilerini artırarak bu olayların afete dönüşme potansiyelini yükselttiğini ve sürdürülebilirliği tehdit ettiğini belirtmektedir. Bu bağlamda, havza ölçeğinde gerçekleştirilen karşılaştırmalı erozyon risk analizleri yalnızca toprak kaybı miktarının belirlenmesiyle sınırlı olmayıp, fiziksel tehlikenin alansal boyutunun ortaya konulması ve ekosistem unsurlarının zarar görebilirlik düzeylerinin belirlenmesi açısından da önem taşımaktadır. Dolayısıyla ampirik modeller aracılığıyla belirlenen erozyon tehlikesi ve risk alanları, modern afet risk yönetimi ile sürdürülebilir havza planlamasında risk azaltma stratejilerinin geliştirilmesine yönelik önemli bir mekânsal altlık oluşturmaktadır.

2.2. Çalışma Alanını Kapsayan Çalışmalar

Egeran ve Lahn (1944: 273-274), Sieberg tarafından hazırlanmış olan "Türkiye Yer Depremleri Haritası"na yönelik eleştirel değerlendirmelerde bulundukları çalışmalarında, Bakırçay Çukuru'ndan başlayan fay hatlarının Balıkesir Havzası'na kadar uzandığını belirtmişlerdir. Araştırmada, bu fayların varlığına dayanarak, fay zonlarının geçtiği alanların birinci derece deprem sahası olarak değerlendirilmesinin doğal bir sonuç olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca, Güney Marmara'daki çukur alanların, Balıkesir üzerinden geçen yarık sistemleri aracılığıyla Ege Bölgesi ile tektonik bir bağlantı içerisinde bulunduğu ifade edilmiştir. Bu çalışma, bölgedeki aktif fay sistemlerinin sismotektonik karakterine ve bölgesel deprem potansiyeline dikkat çeken önemli bir değerlendirme niteliği taşımaktadır.

Lahn (1945: 43), “Anadolu’da Neojen ve 4. Zaman Volkanizması” başlıklı çalışmasında, Ege Bölgesi’ndeki volkanik faaliyetleri iki döneme ayırmış ve bölgedeki volkanizmanın özellikle kuzey kesiminde önemli kütleler oluşturduğunu belirtmiştir. Çalışmada, güneyde İzmir Körfezi ile kuzeyde Manyas Gölü çukuru arasında uzanan volkanik formasyonların, mevcut depresyonları dolduran Neojen depoları arasında yer aldığı ifade edilmiştir. Ayrıca, bu volkanik oluşumların yaşının Miyosen olabileceği ve bölgede volkanizmanın Miyosen döneminde başladığı vurgulanmıştır. Lahn’ın bu değerlendirmesi, bölgenin jeolojik geçmişi ve volkanik özellikleri hakkında önemli bilgiler sunmaktadır.

Akyol (1947: 1-3), “Türkiye Akarsu Sistemleri ve Rejimleri” başlıklı çalışmasında, Marmara Bölgesi’ndeki akarsuların yüzey şekillerine uyumlu bir şekilde gelişim gösterdiğini ve genel eğim doğrultusunda akış yönlerini aldığını belirtmiştir. Çalışmada ayrıca, bölgedeki akarsu sistemlerinin günümüzdeki yerleşimlerini, Pliyosen ve Pleistosen dönemlerinde meydana gelen yer kabuğu hareketleri sonucunda kazandıkları ifade edilmiştir. Bu değerlendirme, Marmara Bölgesi'nin jeomorfolojik gelişimi ve akarsu ağının oluşum süreçleri açısından önemli bilgiler sunmaktadır.

Lahn (1949: 97-98), Türkiye’deki depremler ile tektonik hareketler arasındaki ilişkiyi incelemiş olduğu çalışmasında, Neojen sonlarına doğru çökmüş olan Marmara ve Ege havzalarında, doğu–batı ve kuzey–güney doğrultulu fay hatlarının birbirleriyle kesiştiğini belirtmiştir. Lahn, depremlerin bu fay hatlarının oluşturduğu zayıf zonlar boyunca meydana geldiğini ve sismik aktivitenin, bu kırık sistemlerinin kontrolünde geliştiğini ileri sürmüştür. Bu değerlendirme, bölgedeki aktif tektonik yapının depremsellik üzerindeki etkisini vurgulayan önemli bir yaklaşım olup, Marmara ve Ege havzalarının jeotektonik özellikleri açısından da dikkate değer bilgiler sunmaktadır.

Erentöz (1956), “Türkiye Jeolojisi Üzerine Genel Bir Bakış” başlıklı çalışmasında, Türkiye'deki en eski jeolojik birimlerin temelini kristalen şistlerden oluşan arazilerin oluşturduğunu ifade etmiştir. Batı Anadolu’da yer alan Kazdağı ve Uludağ kütlelerinin de bu kristalen şist serilerine ait olduklarını ve aynı jeolojik temele dayandıklarını ileri sürmüştür. Ayrıca, kristalen serilerin temelini oluşturan bu arazilerin, daha sonraki dönemlerde granitik intrüzyonlar sonucunda kesildiğini ve bu jeolojik süreçlerin bölgenin yapısal özelliklerinin şekillenmesinde etkili olduğunu

vurgulamıştır. Bu çalışma, Batı Anadolu'nun jeotektonik yapısına ışık tutan önemli değerlendirmeler içermektedir.

Kaaden (1959), Uludağ–Kazdağı dağlık kütleleri civarında yer alan magmatik ve metamorfik faaliyetlere maruz kalmış arazilerin yaşlandırılmasına yönelik çalışmalar gerçekleştirmiştir. Çalışmada, bu dağlık kütleleri oluşturan kayaçların, en yaşlıdan en gence doğru stratigrafik sınıflandırması yapılmış; ayrıca magmatik ve metamorfik süreçlerin etkisiyle kayaçlarda meydana gelen minerolojik değişimler ve bu değişimlere bağlı olarak gelişen kayaç formları detaylı biçimde araştırılmıştır. Bu değerlendirmeler, bölgedeki temel kayaçların jeokronolojik özelliklerinin ve metamorfik evrim süreçlerinin anlaşılmasına önemli katkılar sağlamıştır.

Ketin (1959), Türkiye'nin orojenik gelişimi ve tektonik yapısı üzerine gerçekleştirdiği çalışmalarında, Türkiye topraklarının büyük ölçüde Oligosen dönemindeki Alpin Orojenik hareketlerinden etkilendiğini, ancak bazı jeolojik alanların daha eski Hersinien, Kaledonien ve Prekambriyen tektonik faaliyetlerinin de izlerini taşıdığını ileri sürmüştür. Araştırma sahasının da içerisinde bulunduğu Marmara Havzası'nı kapsayan Pontid kuşağında yer alan dağlık kütlelerin, Türkiye'nin en eski dağ sistemlerinden biri olduğu ve bu alanların Hersinien Orojenik faaliyetlerinin sonucu olarak şekillendiği belirtilmiştir. Bu değerlendirmeler, bölgenin jeotektonik geçmişine dair önemli bilimsel katkılar sağlamaktadır.

Ardel (1960: 2-4), "Marmara Bölgesi'nin Yapı ve Röliyefi" başlıklı çalışmasında, Marmara Bölgesi'nde yer alan ve tabanları alüvyonlarla kaplı olan havzaların, Paleozoik, Mezozoik ve Tersiyer'e ait arazilerden oluşan eşiklerle birbirinden ayrıldığını ifade etmiştir. Çalışmada, bölgedeki en yaygın jeolojik birimlerin Tersiyer dönemine ait olduğu vurgulanmış; ancak bu birimlerin üzerinde geniş alanlar kaplayan Neojen yaşlı formasyonların daha baskın bir şekilde yüzeylendiği belirtilmiştir. Bu Neojen birimlerinin genellikle göl depoları karakterinde olduğu ve alt kısımlarının ise yüksek olasılıkla Üst Oligosen'e ait olduğu ileri sürülmüştür. Bu değerlendirmeler, Marmara Bölgesi'nin jeolojik yapısı ve havza oluşumu süreçlerinin anlaşılması açısından önemli katkılar sağlamıştır.

Erinç (1962), "Klimatoloji ve Metotları" adlı eserinde, çalışma sahasının Akdeniz iklim bölgesi içerisinde yer almakla birlikte, planetar etkiler ve coğrafi faktörlerin etkisiyle "Marmara Geçiş İklimi" olarak adlandırılan ve Akdeniz iklim

tipinden önemli farklılıklarla ayrılan özgün bir iklim karakterine sahip olduğunu belirtmiştir. Bu bağlamda bölgedeki iklim, klasik Akdeniz iklimi özellikleri göstermesine rağmen, yerel coğrafi faktörlerin etkisiyle farklılaşarak Marmara Geçiş İklimi olarak tanımlanmıştır.

Ardel (1965: 59-72), "Anadolu Havzalarının Teşekkülü ve Tekamülü" başlıklı çalışmasında, Miyosen ortalarında gerçekleşen peneplenleşme süreci sırasında aşınan materyalin havza tabanlarında biriktiğini ifade etmiştir. Bu değerlendirmeye göre, peneplen yüzeylerinin oluşumuyla havza tabanlarında biriken tortul birikintilerin yaşlarının aynı olması gerektiği ileri sürülmüştür. Ardel'in bu yaklaşımı, Anadolu'da peneplenleşme süreçleri ile havza dolgusunun jeolojik zamanlaması arasındaki ilişkiye dikkat çekmesi bakımından önem arz etmektedir.

Davis (1965), Türkiye'nin fitocoğrafik bölgelerini gösteren haritasında, inceleme alanını Akdeniz Fitocoğrafya Bölgesi içerisinde değerlendirmiştir. Bu sınıflandırma, bölgenin floristik özelliklerinin ve bitki coğrafyası bakımından Akdeniz karakteristiği taşıdığının bir göstergesi olarak önemli bir yer tutmaktadır.

Ergin vd. (1967) tarafından hazırlanan "Türkiye ve Civarının Deprem Kataloğu" adlı çalışmada, inceleme sahası ve çevresini de kapsayan Türkiye ve yakın çevresinde, MS 11 ile 1964 yılları arasında meydana gelen depremler sistematik olarak derlenmiştir. Bu katalog, tarihsel ve aletsel dönem depremlerini içermesi bakımından, bölgenin sismotektonik geçmişini belgeleyen temel kaynaklardan biri olma özelliği taşımaktadır.

Akyürek (1968: 4-12), "Balıkesir – Balya Kuzeyinin Jeolojisi" başlıklı raporunda, çalışma sahasında yer alan başlıca jeolojik birimleri tanımlamıştır. Raporda; Permiyen yaşlı kumtaşı ve kuvarsitler, Üst Jura–Kretase dönemine ait kireçtaşları, Neojen yaşlı killi kireçtaşları ve Kuvaterner dönemine ait alüvyonlar detaylı olarak açıklanmıştır. Ayrıca, bu birimlerin pek çok kesimde andezitik ve dasitik lav örtüleri ile kaplandığı belirtilmiş ve bu örtülerin bölgenin jeolojik yapısında önemli bir yer tuttuğu vurgulanmıştır. Bu çalışma, bölgenin stratigrafik özelliklerinin anlaşılmasına katkı sağlamıştır.

Özgül (1969: 4-20), "Balya Kuzeyinin Jeolojik İncelenmesi" başlıklı raporunda, çalışma sahasında Paleozoyik dönemine ait iki önemli jeolojik formasyona dikkat çekmiştir. Bunlardan ilki, genellikle kumtaşlarıyla temsil edilen, yer yer şeyl

seviyeleri ve nadir kireçtaşı mercekleri içeren Göloba Kumtaşı Formasyonudur. Diğeri ise, alt seviyelerinde kumtaşları, üst seviyelerinde ise kireçtaşları ile karakterize edilen Patlakköy Formasyonudur. Bu formasyonların bölgedeki stratigrafik dizilim içerisinde önemli bir yer tuttuğu belirtilmiş ve jeolojik yapıların ayrıntılı olarak ele alındığı ifade edilmiştir.

Yalçınlar (1970: 891), "Batı Anadolu'nun Strüktür ve Röliyef Şekilleri Üzerine Müşahedeler" başlıklı raporunun ekinde yer alan haritada, inceleme sahasını Neojen dönemine ait volkanik formasyonlarla (andezit, riyolit, trakit, bazalt lavları, tüf ve cüruflar) örtülü olarak göstermiştir. Ayrıca, bölgede genellikle Miyosen dönemine ait olan monoklinal yapılar ile yayla alanları, yapı düzlüğü yüzeyleri ve kuesta şeklindeki röliyef birimleri detaylı şekilde haritalanmıştır. Bu çalışma, Batı Anadolu'nun jeomorfolojik şekillenmesinde yapısal unsurların ve volkanik faaliyetlerin rolüne dikkat çekmesi bakımından önem taşımaktadır.

Sür (1972: 67-68), "Türkiye'nin Özellikle İç Anadolu'nun Geniş Volkanik Alanlarının Jeomorfolojisi" başlıklı çalışmasında, Kuzeybatı Anadolu'daki volkanik faaliyetlerin temel nedeninin fay hatları ve kırık sistemleri olduğunu ifade etmiştir. Araştırmada, Miyosen döneminde yoğunlaşan volkanik etkinliklerle birlikte andezitik lavların yüzeye çıktığı; buna karşın, Pliyosen dönemine gelindiğinde volkanizmanın etkisini kaybettiği ve ortaya çıkan volkanik materyallerin aşınmaya uğrayarak alçak alanlarda biriktiği belirtilmiştir. Bu değerlendirmeler, bölgedeki jeomorfolojik şekillenme süreçlerinin volkanizma ve faylanmalarla yakından ilişkili olduğunu göstermektedir.

Ürgün (1972), "Jeotermik Enerji Sağlanması Amacı ile Susurluk-Manyas-Bandırma (Balıkesir) ile Karacabey-Mustafa Kemal Paşa (Bursa) Arasında Kalan Sahanın İncelenmesi" başlıklı raporunda, araştırma sahasının stratigrafisi, tektonik yapısı, paleocoğrafyası, hidrojeolojisi ve jeotermal enerji potansiyeline ilişkin kapsamlı bilgiler sunmuştur. Raporda, bölgenin kuzey kesiminde yer alan ve Manyas Gölü'nü de kapsayan alanda, doğu-batı doğrultulu bir depresyonun bulunduğu ve bu alanın faylanmalar sonucu gelişen bir graben özelliği taşıdığı belirtilmiştir. Ayrıca sahada kuzeydoğu-güneybatı yönünde uzanan Kocaçay Vadisi Fayı, Mürüvetler Deresi Fayı ve Buzağılık-Susurluk Fayı tanımlanmış; bu faylanmaların, sıcak suların kırık hatları boyunca yükselerek alüvyon içerisinde birikmesine veya graben alanı içerisindeki horstlar üzerinde yataklanmasına olanak sağladığı açıklanmıştır. Bu

değerlendirmeler, bölgenin jeotektonik özellikleri ve jeotermal potansiyelinin anlaşılması açısından önemli katkılar sunmuştur.

Bingöl (1976: 26-29), "Batı Anadolu'nun Jeotektonik Evrimi" başlıklı çalışmasında, Batı Anadolu'nun jeotektonik gelişimini plaka tektoniği kuramı çerçevesinde açıklamıştır. Çalışmada, Menderes Masifi ile Kazdağ Masifi arasında tortul birikimlerinin meydana geldiği ve bu iki masifin Alt Triyas sonlarından itibaren birbirlerine yaklaşmış olabileceği ileri sürülmüştür. Ayrıca, Alt Kretase döneminde kıvrımlanmış tabakaların, Alt Triyas tabakaları üzerine transgresif olarak yerleştiği belirtilmiş; Eosen–Oligosen döneminde ise Kuzeybatı Anadolu'nun bütünsel olarak yükseldiği ifade edilmiştir. Bingöl, Miyosen döneminde bölgede gelişen volkanizmanın ise asidik karakterde olduğunu vurgulamıştır. Bu değerlendirmeler, Batı Anadolu'nun jeotektonik evrimi ve yapısal gelişimi açısından önemli katkılar sunmaktadır.

Akyürek ve Soysal (1978), inceleme alanını da kapsayan geniş bir bölgede gerçekleştirdikleri çalışmalarının sonucunda hazırladıkları raporda, 1/50.000 ölçekli jeoloji haritası ile birlikte, sahada yer alan formasyonların türleri, dağılışları ve yaşları hakkında kapsamlı bilgiler sunmuşlardır. Bu çalışma, bölgenin stratigrafik özelliklerinin ve jeolojik yapısının detaylı bir şekilde ortaya konulması açısından önemli bir kaynak niteliğindedir.

Topraksu (1979) tarafından hazırlanan "Ege Havzası Toprakları" başlıklı raporda, inceleme alanını da kapsayan sahadaki toprak özelliklerine ilişkin bilgiler sunulmuştur. Raporda, bölgenin toprak türleri, dağılımları ve temel özellikleri değerlendirilmiş; ayrıca bu bilgiler ışığında hazırlanan 1/100.000 ölçekli toprak haritası da çalışmaya eklenmiştir. Bu rapor, bölgenin toprak karakteristiklerinin belirlenmesinde ve toprak sınıflandırmasına yönelik çalışmalarda başvuru kaynağı olma niteliği taşımaktadır.

Şengör (1980: 11-28), "Türkiye Neotektoniğinin Esasları" adlı çalışmasında, Türkiye'de Neotektonik Dönem'in, Anadolu–Arabistan levha çarpışmasıyla başladığını ve bu sürecin kabaca Orta Miyosen'den günümüze kadar devam ettiğini ifade etmektedir. Bu çerçevede, Türkiye'nin tektonik rejimini açıklarken, üç ana neotektonik bölgeyi tanımlamıştır: Doğu Anadolu Sıkışma Bölgesi, Orta Anadolu Ovalar Bölgesi ve inceleme sahasının da içinde bulunduğu Ege Graben Sistemi.

Şengör, bu sınıflandırmayla birlikte Türkiye'deki tali neotektonik bölgeleri de ele alarak, bu alanların jeodinamik özelliklerine göre bir tasnif yapmıştır. Özellikle Ege Graben Sistemi, Batı Anadolu'da etkin olan genişlemeli tektonizmanın kontrolünde şekillenmiş olup hem yer kabuğu hareketleri hem de yüzey şekilleri üzerinde belirleyici olmuştur.

Darkot ve Tuncel (1981: 131), "Marmara Bölgesi Coğrafyası" adlı eserlerinde, inceleme sahasının coğrafi konumu ve fiziki özellikleri hakkında bilgilere erişilebilir. Çalışmada, araştırma alanı Marmara Bölgesi'nin alt birimi olan Karesi Yöresi içerisinde değerlendirilmiş ve bölgenin fiziki coğrafya özellikleriyle birlikte konumsal özelliklerine de vurgu yapılmıştır. Bu eser, Marmara Bölgesi'nin genel coğrafi karakteristiklerinin anlaşılması açısından temel başvuru kaynaklarından biri olma niteliği taşımaktadır.

Atalay (1982: 36, 38, 48, 49), "Türkiye Jeomorfolojisine Giriş" adlı eserinde, Türkiye'nin genel jeolojik ve jeomorfolojik özelliklerini, morfolojik ana birimlerini ve jeomorfolojik-paleocoğrafik evrimini kapsamlı bir şekilde ele almıştır. Çalışmada, Türkiye'de şiddetli aşınma ve taşınma süreçlerinde; eğimin fazlalığı, bitki örtüsünün yoğun tahribatı, aşınmaya karşı dirençsiz kayaçların geniş alanlarda yüzeylenmesi ve hızlı şekilde gelişen vadi yamaçlarında kütle hareketlerinin oluşmasının etkili olduğu vurgulanmıştır. Alp Orojenezi'ni takiben gelişen şiddetli aşınmanın, çeşitli havzalarda yoğun tortul birikimlere yol açtığı; özellikle limnik (göl) havzalarında, Neojen ve Kuvaterner dönemlerinde kaba klastiklerin egemen olduğu çökel istiflerinin, aşınmanın şiddetine bağlı olarak yüzlerce metre kalınlığa ulaşabildiği belirtilmiştir. Ayrıca, Balıkesir çevresinde Miyosen'den başlayıp Pliyosen'e kadar süren volkanik faaliyetlerin etkili olduğu, bu süreçte oluşan lav akıntıları ve tüf yataklarının Neojen dönemi göl ortamlarına yığıldığı ifade edilmiştir. Bu değerlendirmeler, Türkiye'nin jeomorfolojik yapısının ve bölgesel morfodinamik süreçlerinin anlaşılmasında önemli katkılar sunmuştur.

Ketin (1983), "Türkiye Jeolojisine Genel Bir Bakış" adlı eserinde yer alan "Türkiye'nin Deprem Bölgeleri veya Deprem Zonları Haritası" üzerinde, inceleme alanını 1. derece deprem bölgesi veya deprem zonu içerisinde göstermiştir. Bu sınıflandırma, bölgenin yüksek derecede sismik risk taşıyan alanlardan biri olduğunu ortaya koymakta ve çalışmanın sismotektonik değerlendirmeleri açısından önemli bir referans oluşturmaktadır.

Erinç (1984: 372), “Klimatoloji ve Metodları” adlı eserinde, araştırma alanının genel olarak Akdeniz iklim bölgesi içerisinde yer aldığını ancak planeter ve coğrafi faktörlerin etkisiyle bölgede “Marmara Geçiş İklimi” olarak adlandırılan, Akdeniz ikliminden belirgin farklılıklar gösteren bir iklim tipinin etkili olduğunu ifade etmiştir. Çalışmada, bu geçiş ikliminin özelliklerinin, Marmara Bölgesi’nin konumu ve çevresel koşullarıyla şekillendiği vurgulanmış ve bölgenin klimatolojik karakteristiklerinin farklı iklim kuşaklarının etkisi altında oluştuğu belirtilmiştir.

Ardos (1985: 119), “Türkiye Ovaları'nın Jeomorfolojisi II” adlı çalışmasında, bölgedeki ovaların çoğunlukla büyüklü küçüklü kırık hatları boyunca yer aldığını ve bu ovaların alüvyal dolgulu çöküntü ovaları niteliğinde olduğunu ifade etmiştir. Araştırmada, tektonik kökenli bu ovaların Alpin Orojenezinden sonra ortaya çıkan epirojenik hareketler sonucunda şekillendiği belirtilmiştir. Özellikle Neojen döneminde, kırık sistemleri boyunca gelişen çöküntü alanlarının oluştuğu ve bu alanlarda zaman zaman volkanik faaliyetlerin de görüldüğü vurgulanmıştır. Ardos, bu çöküntülerin Neojen döneminde göl, deniz ve akarsu tortullarıyla dolduğunu, Kuvaterner döneminde ise alüvyal birikimlerin yoğunlaştığını ifade etmiştir. Bu değerlendirmeler, bölgedeki ova oluşumlarının tektonik süreçlerle olan ilişkisini ortaya koyması bakımından önemlidir.

Ergül vd. (1986) tarafından hazırlanan ve araştırma sahasının bir bölümünü kapsayan “1/100 000 Ölçekli Açınsama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Balıkesir-F6 Paftası” ile “Bandırma-E6 Paftası” adlı çalışmalarda, bölgenin jeolojik özellikleri detaylı şekilde açıklanmıştır. Bu haritalarda, Paleozoyik’e ait alacalı renkli şistlerden oluşan ve yer yer mercek ile bantlar halinde mermer seviyeleri içeren Fazlıkonağı Formasyonu tanımlanmıştır. Bunun üzerinde yer alan kireçtaşlarından oluşan Mezozoik dönem arazilerine dikkat çekilmiş; ayrıca sahada geniş alanlar kaplayan granit ve granodiyorit kütlelerinin, Üst Kretase yaşlı Yayla Melanjını kestikleri için muhtemelen Paleosen yaşlı olabileceği belirtilmiştir. Neojen dönemine ait çakıltaşı, kumtaşı, marn, killi kireçtaşı, kireçtaşı, tüf, aglomera ve lavlardan oluşan ayrılmamış volkano-sedimanter birimlerin ve yine Neojen volkanitleri kapsamında değerlendirilen andezit lavı, aglomera ve tüflerin bölgede yaygın olarak bulunduğu ifade edilmiştir. Ayrıca, tutturulmamış çakıl, kum ve çamurdan oluşan Kuvaterner yaşlı alüvyonların ise akarsu vadileri boyunca ve düzlüklerde geniş alanlar kapladığı

belirtilmiştir. Bu çalışmalar, bölgenin jeolojik yapısının anlaşılmasında temel kaynaklar arasında yer almaktadır.

Ercan vd. (1990) tarafından hazırlanan "Balıkesir-Bandırma Arasının Jeolojisi, Tersiyer Volkanizmasının Petrolojisi ve Bölgesel Yayılımı" başlıklı çalışma ile birlikte sunulan 1/100.000 ölçekli jeoloji haritası, araştırma alanının kuzey kısmını kapsamaktadır. Çalışmada, bölge temelinin, Üst Paleozoyik yaşlı metamorfik kayaçlardan oluşan ve yer yer mercek ile bant şeklinde mermerler ile serpantinit kütleleri içeren Fazlıkonağı Formasyonu olduğu belirtilmiştir. Bu temel birimin üzerinde uyumsuz olarak, Alt Triyas yaşlı kırıntılı kayaçlar ile kireçtaşı bloklarından oluşan Karakaya Formasyonu yer almaktadır. Daha üst seviyelerde ise Orta–Üst Triyas yaşlı konglomera, kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve kireçtaşı seviyeleri ile temsil edilen Çaltepe Formasyonu bulunmaktadır. Üst Jura–Alt Kretase yaşlı kireçtaşlarının üzerine ise, Üst Kretase dönemine ait, çökel, metamorfik ve ofiyolitik kayaçların ilksel ilişkili olmayan bir arada bulunduğu karmaşık yapılı Yayla Melanjı yer almaktadır. Tersiyer dönemde, Paleosen yaşlı granodiyorit ve granit kütlelerinin (Çataldağ ve Şamlı-Ilıca granitleri) bölgede gelişim gösterdiği, Miyosen–Pliyosen dönemlerinde ise karasal ortamda çökel kayaçların ve volkanizma sonucu oluşan volkanik kayaçların meydana geldiği belirtilmiştir. Kuvaterner dönemi ise, yüzeydeki birikintilerle temsil edilmiştir. Bu çalışma, bölgenin stratigrafik dizilimi, tektonik geçmişi ve Tersiyer dönemindeki volkanik süreçlerin bölgesel yayılımı açısından önemli bilgiler sunmaktadır.

Saraçoğlu (1990: 142), "Bitki Örtüsü, Akarsular ve Göller" adlı eserinde, Ardıçtepe Barajı'nın kurulu olduğu Kocaçay hakkında detaylı bilgiler sunmuştur. Kocaçay'ın (152 km) Madra Dağı'nın kuzeydoğu yamacından doğduğu, bu kesimlerde akarsuya Madra Çayı adının verildiği belirtilmiştir. İvrindi Ovası'nın sonlarına doğru, akarsuya birkaç küçük kolun (özellikle Dadalar Çayı) katıldığı ve bu birleşmeler sonucunda akımın kuvvetlendiği ifade edilmiştir. Kocaçay, ovayı geçtikten sonra Güngörmez Boğazı'na yönelir ve dağlık bir kütle içerisinde bir boğazdan diğerine geçerken, sağdan ve soldan aldığı küçük kollarla büyüyerek kuzeye doğru akışını sürdürür. Bu kesimlerde, akarsuya bulunduğu yere göre Kocaafşar Çayı ya da Kocaçay gibi farklı adlar verildiği belirtilmiştir. Kocaçay, Manyas önlerinde düzlüğe çıkar, genişler ve iki tarafındaki setler arasında akarak Manyas Gölü'ne dökülür. Gölün fazla suları ise güneydoğu ucundaki bir noktadan çıkarak Karadere adıyla, geniş düzlükler içerisinde sazlık ve bataklık bir yatakta kıvrılarak, durgun bir şekilde

Karacabey altında Simav Çayı'na karışır. Saraçoğlu, Karadere'nin yaz aylarında debisi azalsa da kuvvetli bir akışa sahip olduğunu ve akarsu yatağının bir yakasından diğerine yürüyerek geçmenin güç olduğunu ifade etmiştir. Bu açıklamalar, Kocaçay ve Karadere sisteminin bölgedeki hidrolojik yapıya ve su rejimine dair önemli bilgiler sunmaktadır.

Soykan (1991), "Kepsut – Susurluk Kuzeyi Arasında Susurluk Çayı Vadisinin Jeomorfolojisi" başlıklı yüksek lisans tez çalışmasında, inceleme sahasındaki jeolojik yapının, bölgenin jeomorfolojik özelliklerinin kazanılmasında belirleyici bir unsur olduğunu ifade etmiştir. Çalışmada, bu etkinin bir yandan sahada yer alan litolojik birimlerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinden, diğer yandan ise bu birimlerin birbirlerine göre duruşlarından ve bu duruşların oluşum özelliklerinden kaynaklandığı vurgulanmıştır. Örnek olarak, Paleozoik yaşlı kireçtaşları ile metamorfik şistler ya da granit kütleleri içerisinde gelişmiş dar ve derin vadilerin oluşumu gösterilmiş; bu tür jeolojik birimlerin, vadilerin şekillenmesinde önemli rol oynadığı belirtilmiştir. Bu çalışma, jeolojik yapı–jeomorfolojik şekil ilişkisini sahaya özgü örneklerle ortaya koyması açısından literatürde dikkat çeken çalışmalar arasında yer almaktadır.

Soykan (1993), "Sındırgı ve Bigadiç Depresyonları ile Yakın Çevresinin Jeomorfolojisi" başlıklı doktora tez çalışmasında, inceleme alanındaki jeomorfolojik özelliklerin oluşum ve gelişiminde etkili olan faktörleri analiz etmiş ve bölgenin topoğrafyasının jeomorfolojik evrimini açıklamıştır. Araştırmada, bölgeyi oluşturan jeolojik ve litolojik birimlerin büyük bir çeşitlilik gösterdiği; sahayı teşkil eden kayaçların, Paleozoik'ten Kuaterner'e kadar farklı jeolojik dönemlerde oluşmuş çeşitli formasyonları içerdiği ifade edilmiştir. Temeli oluşturan Paleozoik arazinin kristalize kalker, metamorfik şist ve az miktarda mermerlerden meydana geldiği belirtilmiş; bu birimlerin bölgenin jeomorfolojik yapısında temel rol oynadığı vurgulanmıştır. Çalışmada ayrıca, sahadaki Neojen havzalarının oluşumunun Miyosen'den daha önce, büyük olasılıkla Oligosen–Miyosen arasında gerçekleşen yer kabuğu hareketleri sonucunda meydana geldiği öne sürülmüştür. Bu hareketlerin sonucu olarak depresyonların şekillendiği ve bu depresyonlar arasındaki plato sahalarının ise hafif yükselmelerle belirginleştiği belirtilmiştir. Bu tez, bölgedeki jeomorfolojik evrimin tektonik süreçlerle olan ilişkisini açıklaması bakımından dikkat çekici bir çalışma olarak değerlendirilmektedir.

Atalay (1994), “Türkiye Vejetasyon Coğrafyası” adlı eserinde, inceleme alanını “Türkiye’nin Fitocoğrafya Bölgeleri Haritası” üzerinde Akdeniz Fitocoğrafya Bölgesi içerisinde göstermiştir. Bu sınıflandırma, çalışma alanının bitki örtüsü özelliklerinin Akdeniz fitocoğrafyasıyla uyumlu olduğunu ortaya koymakta ve bölgenin biyocoğrafik karakterine ilişkin önemli bir değerlendirme sunmaktadır.

Efe (1994: 209), “Biga Yarımadası'nda Neotektoniğin Jeomorfolojik İzleri” başlıklı çalışmasında, genç tektonik hareketlerin Biga Yarımadası’nda belirgin yer şekillerinin oluşumunda önemli bir rol oynadığını vurgulamıştır. Araştırmada, bu tektonik olayların etkisiyle Miyosen öncesi yüzeylerin bazı alanlarda yükseldiği (örneğin Kazdağ ve Armutçuk Dağları), bazı bölgelerde çarpılmaya uğradığı (Kazdağ kuzeyi) veya çökelerek depresyonlar ve ovalar oluşturduğu (Ezine, Kalkım, Etili, Ayvacık, Gönen ve Biga Ovaları) ortaya konulmuştur. Bunun yanı sıra, bölgedeki başlıca jeomorfolojik şekillerin dışında kalan ve tektonik kökenli olduğu belirlenen fay basamakları, asimetrik vadiler, tektonik şevler, çizgisel vadiler, ötelenmiş sırtlar ve dere yatakları gibi morfolojik unsurların da sahada yaygın olarak gözlemlendiği belirtilmiştir. Bu çalışma, Biga Yarımadası’nın genç tektonik süreçlerle şekillenen jeomorfolojik karakterinin anlaşılmasına katkı sağlayan önemli araştırmalardan biri olmuştur.

Sür (1994), “Türkiye’de Volkanizma ve Volkanik Yerşekilleri” başlıklı çalışmasında, Türkiye’deki Neojen ve Kuvaterner volkanizmasının dağılışı ile Türkiye Tektonik Haritası karşılaştırıldığında, bu iki jeolojik olay arasında yakın bir ilişki bulunduğunu ifade etmiştir. Araştırmacı, kırık sistemlerinin yoğun olduğu Batı Anadolu’da, Neojen ve Kuvaterner dönemlerine ait volkanik faaliyetlerin etkili olduğunu ve bu nedenle bölgenin volkanik rölyef açısından zengin bir alan teşkil ettiğini belirtmiştir. Çalışmada, Neojen volkanik arazilerinin genel olarak aşınmış, yıpranmış ve ilk oluşum şekillerini büyük ölçüde kaybetmiş olduğu; buna karşılık, Kuvaterner volkanik arazilerinin ise daha genç yaşta olmaları nedeniyle, görece daha az aşındıkları ve volkanik materyalin özelliklerine bağlı olarak şekil bakımından günümüzde dikkat çekici görünümler sundukları ifade edilmiştir. Ayrıca, bölgede yaygın olan volkanik materyalin büyük ölçüde andezit ve tüflerden oluştuğu ileri sürülmüştür. Bu çalışma, Batı Anadolu’nun volkanik jeomorfolojisinin anlaşılması açısından önemli bir kaynak niteliği taşımaktadır.

Emre vd. (1997: 116-126), “Ulubat ve Manyas Göllerinin Oluşumu ve Yerleşim Tarihçesi” başlıklı çalışmalarında, Güney Marmara’da yer alan Karacabey–Manyas depresyonu içerisindeki Ulubat ve Manyas Göllerinin oluşum süreçlerini detaylı bir şekilde incelemişlerdir. Çalışmada, bölgenin Kuvaterner öncesi morfolojik özellikleri, Kuvaterner dönemi boyunca yaşanan drenaj değişimleri ve bu değişimlerin sahadaki jeomorfolojik sonuçları ele alınmıştır. Araştırma, göllerin jeolojik geçmişi ve bölgedeki morfodinamik süreçlerin açıklanması açısından önemli bilgiler sunmaktadır.

Görür vd. (1997: 1-21), “Marmara Denizi’nin Oluşumu ve Neojen–Kuvaterner’deki Evrimi” adlı çalışmalarında, Marmara Denizi'nin Kuzeybatı Anadolu graben sistemine ait olup, bu sistemin su altında kalmış bir devamı olduğunu ifade etmektedirler. Söz konusu oluşumun, doğrultu atımlı Kuzey Anadolu Fayı (KAF) ile Ege Bölgesi’nde etkin olan kuzey-güney yönlü genişleme tektoniğinin ortak etkisiyle meydana geldiği belirtilmektedir. Çalışmada ayrıca, Marmara Bölgesi’nin Miyosen’den Holosen’e kadar geçen süreçteki paleocoğrafik gelişimi detaylı olarak ele alınmıştır. Bu çerçevede, bölgedeki tektonik rejimin değişkenliği ve farklı jeodinamik süreçlerin birlikte etkili olduğu vurgulanmaktadır. Özellikle Neotektonik Dönem’de, Marmara Bölgesi'nin hem genişleme hem de doğrultu atımlı faylanma etkisi altında şekillendiği, bu nedenle bölgenin morfolojik karakterinin karmaşık bir yapıya sahip olduğu anlaşılmaktadır.

Köse (1997), “İvrindi ve Çevresi'nin Coğrafi Etüdü” başlıklı çalışmasında, İvrindi Ovası çevresinde sentripetal drenaj ağının gelişim gösterdiğini ifade etmiştir. Bununla birlikte, bölgede dandritik drenaj ve kancalı drenaj tiplerinin de yer yer görüldüğü belirtilmiştir. Bu değerlendirmeler, İvrindi ve çevresindeki drenaj sisteminin morfolojik yapıya bağlı olarak çeşitlilik gösterdiğini ortaya koymakta ve bölgenin hidrolojik özelliklerine ışık tutmaktadır.

Koç (2000: 209-218), “Balya Çevresinin (Balıkesir) Jeomorfolojisi” başlıklı çalışmasında, Balya çevresindeki jeomorfolojik şekillenmenin, Alt Miyosen’den itibaren etkili olan tektonik hareketler, yapısal özellikler ve morfoklimatik süreçlerin bir araya gelmesiyle oluştuğunu ortaya koymuştur. Çalışmada, bölgedeki morfolojik gelişimin bu dinamik süreçlerin etkileşimi sonucunda şekillendiği vurgulanmış; özellikle tektonik hareketlerin ve iklimle bağlantılı dış kuvvetlerin topoğrafya üzerindeki belirleyici etkileri dikkat çekici şekilde açıklanmıştır.

Gülüm (2001), “Kocaçay Havzası'nın Yukarı Kesiminin Jeomorfolojisi” başlıklı doktora çalışmasında, inceleme alanını da kapsayan Kocaçay Havzası’nın yukarı kesiminde yer alan yüksek alanlar, dağlık sahalar, platolar ve ova sistemleri detaylı şekilde incelenmiştir. Çalışmada, özellikle İvrindi ve Gümeli Platoları, ova ve taban düzlüklerinin jeomorfolojik özellikleri açıklanmış; Kocaçay Taban Düzlüğü, Gökçeyazı Ovası, Kocaavşar Taban Düzlüğü ve Alidemirci Ovası hakkında kapsamlı bilgiler verilmiştir. Bu çalışma, Kocaçay Havzası’nın yukarı bölümündeki morfolojik yapının anlaşılması ve bölgedeki jeomorfolojik birimlerin özelliklerinin ortaya konması açısından önemli bir katkı sağlamıştır.

Tellioğlu (2001), “Manyas (Kuş Gölü) ve Yakın Çevresi'nin Jeomorfolojisi ve Uygulamalı Jeomorfolojisi” başlıklı doktora çalışmasında, inceleme alanının kuzeyinde yer alan bölgeye ilişkin kapsamlı jeomorfolojik değerlendirmelerde bulunmuştur. Çalışma, araştırma alanının seçiminde, sınırlarının belirlenmesinde ve sahadaki jeomorfolojik oluşumların ve gelişim süreçlerinin açıklanmasında önemli bir yer tutmaktadır. Tellioğlu, bölgenin jeomorfolojik evrimini Miyosen, Geç Miyosen–Pliyosen ve Pliyosen Sonu–Kuvaterner olmak üzere üç ana dönemde değerlendirmiştir. Çalışmada, Miyosen boyunca aşınım süreçlerinin etkili olduğu ve bu dönemin sonunda, üzerinde göl ve akarsu çökellerini barındıran bir peneplen yüzeyinin geliştiği ifade edilmiştir. Ancak, bu peneplen yüzeyinin, Miyosen–Pliyosen geçişinde ortaya çıkan tektonik hareketlerle büyük ölçüde değişime uğradığı ve parçalandığı; ayrıca, tektonizma sonucunda göl–akarsu çökelleriyle doldurulan Pliyosen havzalarının oluştuğu belirtilmiştir. Bu döneme ait morfotektonik uzanımların KD–GB ve KB–GD yönlü olduğu açıklanmıştır. Pliyosen Sonu–Pleistosen’de ise Kuzey Anadolu Fayı (KAF) sisteminin gelişmesiyle birlikte bölgenin morfotektonik çatısının şekillendiği, bunun sonucunda fizyografik uzanımların doğu–batı yönlü bir doğrultu kazandığı ortaya konulmuştur. Çalışmada ayrıca, inceleme alanının kuzeyinde yer alan Manyas Ovası’nın, Kızık Köyü batısında bir boğazdan çıkarak ovaya doğru açılan Kocaçay tarafından taşınan alüvyal malzemenin, göle doğru bir birikinti yelpazesi veya fandelta şeklinde biriktirilmesiyle oluştuğu açıklanmıştır. Bu çalışma, bölgedeki morfodinamik süreçlerin anlaşılmasında önemli bir kaynak niteliğindedir.

Cürebal (2003), “Madra Çayı Havzasının Uygulamalı Jeomorfoloji Etüdü” başlıklı doktora tez çalışmasında, araştırma sahasında uygulamalı jeomorfoloji

açısından hem olumlu hem de olumsuz etkiler oluşturan özelliklerin varlığını belirlemiştir. Çalışmada, Madra Çayı Havzası'nın doğal ortam koşulları, insan etkisi ve bu iki unsur arasındaki karşılıklı etkileşimlerin dikkat çekici örneklerin yaşandığı bir alan olarak değerlendirilebileceği ifade edilmiştir. Araştırmaya göre, havzada kimi yerlerde doğal ortam koşulları, kimi durumlarda ise insan faaliyetleri, bazen de her iki faktörün ortak etkisiyle gelişen süreçlerin sonucunda uygulamalı jeomorfoloji açısından çeşitli sorunlar ortaya çıkmıştır. Bu tez, havzanın doğal süreçler ve insan etkisi bağlamındaki jeomorfolojik dinamiklerini ortaya koyması bakımından önemli bir katkı sunmuştur.

Uzun (2003), "Balıkesir Ovası–Kocaçay–Manyas Ovası ve Susurluk Çayı Arasında Kalan Sahanın Jeomorfolojisi" başlıklı çalışmasında, inceleme alanının kuzey kesiminde yer alan bölgenin jeomorfolojik özelliklerini değerlendirmiştir. Çalışmada, özellikle tektonik hareketlerin etkisiyle taban seviyelerinde meydana gelen değişimlerin akarsuların gençleşmesine yol açtığı ve bunun kanıtı olarak da eski vadi tabanlarının farklı taraça seviyeleri oluşturduğu belirtilmiştir. Araştırmada, akarsuların fasılalı olarak gömüldüğü ve Susurluk Çayı ile Kocaçay'ın genç vadi tabanlarında farklı seviyelerde gelişmiş taraçalarla birlikte, Susurluk Çayı boyunca yüksekte kalmış menderes izlerinin görüldüğü ifade edilmiştir. Ayrıca, Susurluk Çayı, Kocaçay ve Koca Dere tarafından açılmış olan boğazların, inceleme alanına morfolojik çeşitlilik kazandırdığı; bu boğazların oluşum mekanizmalarının ortaya konmasının ise önemli bir jeomorfolojik problem olarak değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Çalışmada, temel kayaçları oluşturan metamorfik kayaçlar ve granitler içerisinde Susurluk Çayı'nın Bektaşlar ve Ilıca Boğazlarını, kireçtaşı, kumtaşı ve kuvarsitler içerisinde Kocaçay'ın Kocaavşar Boğazını, mermerler içerisinde ise Koca Dere'nin Taşkesiği Boğazını açtığı belirtilmiştir. Ayrıca, akarsuların örtü formasyonlarını aşındırarak temel kayaçlar içerisinde oluşturduğu bu boğazların sürempozisyon (epijeni) mekanizmasıyla geliştiği ifade edilmiş ve boğazların çevresinde yer alan Neojen yaşlı formasyonlara ait örtü kalıntılarının bu mekanizmaya kanıt oluşturduğu belirtilmiştir. Bu çalışma, bölgenin morfodinamik süreçlerinin ve akarsu gelişimlerinin anlaşılmasına önemli katkılar sağlamıştır.

Okay ve Göncüoğlu (2004), Karakaya Kompleksi'nin oluşum modelleri üzerine yürüttükleri çalışmalarında, farklı jeodinamik senaryoları değerlendirmişlerdir. Bu kapsamda öne sürdükleri modellerden ilki olan Rift

Modeli'ne göre, Karakaya Karmaşık Serisi'ni oluşturan kayaçların Geç Permiyen döneminde bir rift ortamında geliştiği ve bu riftin zamanla okyanusal bir denize dönüştüğü, ancak Geç Triyas döneminde kapanma eğilimi gösterdiği belirtilmiştir. İkinci model olan Dalma-Batma–Eklenme Modeli'ne göre ise, Karakaya Karmaşık Serisi'nin, Paleo-Tetis Okyanusu'nun Triyas döneminde kuzeye doğru Lavrasya aktif kıta kenarı boyunca dalma-batma hareketi ile gelişen eklenir prizmanın bir parçasını temsil ettiği ifade edilmiştir. Bu yaklaşımlar, Karakaya Kompleksi'nin tektonik kökenine ilişkin farklı bilimsel görüşlerin ortaya konulması bakımından önem taşımaktadır.

Gülüm (2010), "İvrindi Ovası ve Yakın Çevresinin Jeomorfolojisi" başlıklı çalışmasında, Kocaçay'ın orta çığırını oluşturan İvrindi Ovası ve çevresinin jeomorfolojik özelliklerini değerlendirmiştir. Çalışmada, kaynağını Madra Dağı'nın kuzey ve kuzeydoğu yamaçlarından alan ve güneybatı–kuzeydoğu doğrultusunda akış gösteren Madra Çayı (Kocaçay)'nın, bölgedeki aşındırma ve biriktirme süreçlerinde belirleyici bir rol oynadığı vurgulanmıştır. Akarsu havzasının uzanış doğrultusuna paralel olarak, araştırma alanının batısının yüksek alanlarla çevrelendiği, akarsu yatak eğiminin azaldığı İvrindi İlçe Merkezi'nin kuzey ve kuzeydoğusunda ise biriktirme faaliyetleri sonucunda İvrindi Ovası ve bu ovaya bağlı taban düzlüklerinin geliştiği ifade edilmiştir. Ayrıca, bu ova ile çevredeki yüksek alanlar arasında İvrindi Platosu'nun şekillendiği belirtilmiş ve bölgedeki jeomorfolojik süreçlerin akarsu faaliyetleriyle olan güçlü ilişkisi ortaya konulmuştur.

Erkal ve Taş (2013), "Jeomorfoloji ve İnsan" adlı eserlerinde, uygulamalı jeomorfolojinin tanımı, tarihsel gelişimi ve hangi konuları kapsadığı üzerine kapsamlı değerlendirmelerde bulunmuşlardır. Çalışmada, uygulamalı jeomorfolojinin temel amacının bilimsel bilginin doğrudan toplum yararına sunulması olduğu vurgulanmıştır. Yazarlar, bu yaklaşımın merkezine insanı yerleştirerek, insan–doğal ortam etkileşimlerinin en uygun şekilde nasıl bir arada var olabileceğine dair çözüm önerileri geliştirilmesinin gerekliliğine dikkat çekmişlerdir. Kitapta ayrıca, uygulamalı jeomorfolojinin yalnızca doğal süreçlerin analiziyle sınırlı kalmadığı; aynı zamanda bu süreçlerin insan yaşamı üzerindeki etkilerini değerlendirerek, ortaya çıkan problemlerle mücadelede bilimsel bir rehber olma işlevi taşıdığı belirtilmiştir. Bu yaklaşım, coğrafya biliminin toplumsal faydaya dönük uygulamalarında jeomorfolojinin kritik rolüne işaret eden önemli bir bakış açısı sunmaktadır.

3. YÖNTEM

Bu çalışmada, Ardıçtepe Barajı Havzası'nda erozyon tehlikesinin belirlenmesi, alanın zarar görebilirlik düzeyinin değerlendirilmesi ve nihai risk analizinin gerçekleştirilmesi amacıyla, birbirini tamamlayan üç temel analiz süreci uygulanmıştır.

İlk aşamada, tehlike analizi kapsamında; saha genelinde etkili olan erozyon tehlikesi farklı yöntemlerle belirlenmiş, bu amaçla MPSIAC, RUSLE ve Erozyon Çubukları Yöntemi olmak üzere üç farklı yöntemden yararlanılmıştır. Her yöntemin kendine özgü parametreleri doğrultusunda uygulama adımları takip edilerek, alandaki potansiyel erozyon tehlikesi niteliksel ve niceliksel olarak analiz edilmiştir.

İkinci aşamada, zarar görebilirlik analizi gerçekleştirilmiş; bu kapsamda hem baraj yapısı hem de baraj havzası olmak üzere, erozyonun etkileyebileceği kritik unsurlar değerlendirilmiştir. Böylece, havzada olası bir erozyon sürecinde hangi alanların, ne düzeyde zarar görebileceği sistematik olarak incelenmiştir.

Son aşamada ise, yapılan analizlerin bulguları ışığında risk analizi yapılmış ve tehlike – zarar görebilirlik ilişkisinden hareketle havza genelinde ortaya çıkabilecek risk düzeyleri ortaya konulmuştur.

Çalışmada hem saha gözlemleri hem de literatürden elde edilen bilimsel veriler ışığında geliştirilen çok yönlü yöntem yaklaşımı ile, alanın çevresel risk profili bütüncül bir bakış açısıyla değerlendirilmiştir.

3.1. Tehlike Analizi

Doğal afetler ve çevresel tehditler söz konusu olduğunda, tehlike analizi, belirli bir alanda meydana gelebilecek olumsuz doğal olayların olasılığını ve bu olayların şiddet düzeyini ortaya koymayı amaçlayan temel bir değerlendirme sürecidir.

Erozyon, özellikle eğimli arazilerde ve yüzey örtüsünün zayıf olduğu bölgelerde, doğal dengeyi bozarak hem arazi kaybına hem de hidrolojik sistemlerde bozulmalara yol açabilen önemli bir çevresel tehdittir. Bu nedenle, erozyon tehlikesinin doğru şekilde analiz edilmesi, sadece arazi yönetimi açısından değil, aynı zamanda risk analizi ve çevresel planlama açısından da kritik bir adımdır.

Bu çalışmada, tehlike analizi, erozyonun meydana gelme potansiyelinin bilimsel yöntemlerle belirlenmesi ve bu potansiyelin niteliksel ve niceliksel verilerle desteklenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir.

MPSIAC, RUSLE ve Erozyon Çubukları Yöntemi gibi farklı ölçüm ve değerlendirme teknikleri kullanılarak, alanın mevcut özelliklerine uygun şekilde erozyon tehlikesi farklı perspektiflerden analiz edilmiştir.

Bu analizler sonucunda elde edilen bulgular, zarar görebilirlik ve risk analizine temel teşkil edecek şekilde değerlendirilmiştir.

3.1.1. MPSIAC Yöntemi Uygulama Aşamaları

Bu çalışmada kullanılan yöntemlerden biri olan MPSIAC (Pacific Southwest Inter-Agency Committee) yöntemi, özellikle kurak ve yarı kurak iklim bölgelerinde etkili olan erozyon süreçlerinin değerlendirilmesinde geliştirilmiş, bilimsel geçerliliği yüksek kapsamlı bir analiz yaklaşımıdır (Tablo 1).

MPSIAC yöntemi, yalnızca hızlandırılmış (antropojenik kaynaklı) erozyon süreçlerini değerlendiren klasik yaklaşımlardan farklı olarak, ana kayaç gruplarının dayanım katsayılarına dayanan jeolojik (doğal) erozyon süreçlerini de dikkate alan çok yönlü bir yapıya sahiptir. Bu özelliği sayesinde hem doğal süreçlerin hem de insan etkisiyle ortaya çıkan hızlandırılmış erozyonun toplam erozyon üzerindeki ortak etkisini bütüncül olarak değerlendirme imkânı sunmaktadır. Ayrıca, MPSIAC yöntemi, bölgesel bazda erozyon tehlikesinin belirlenmesi yanında, sediment taşınımı ve sediment kontrolü çalışmalarına yön vermesi açısından da önem arz etmektedir. Bu yönüyle, arazi yönetimi, havza planlaması ve çevresel risk analizlerinde kullanılabilecek kapsamlı bir karar destek aracı niteliği taşımaktadır.

Çalışma sahası olan Ardıçtepe Barajı Havzası, coğrafi konumu itibarıyla Akdeniz İklimi etkisi altındaki Marmara Geçiş Kuşağı'nda yer almakta ve klasik

Akdeniz iklim tipinden farklılaşan özgün bir iklim karakterine sahiptir. Bölgede yarı kurak iklim özelliklerinin yanı sıra, coğrafi ve iklimsel faktörlerin birlikte etkili olması, MPSIAC yönteminin uygulanmasını bilimsel açıdan uygun kılmıştır.

Tablo 1. MPSIAC Modeli Üzerinde Erozyon Etki Faktörleri ve Hesaplaması

No	Etki Faktörü ve Tanımlama	Eşitlik
1	Anakaya Faktörü X_1= Kayaçların erozyon duyarlılığı	$Y_1= X_1$
2	Toprak Erodibilite Faktörü K= Toprak eroadibilite faktörü	$X_2= 16,67K$
3	İklim Faktörü P_2= 2 yıl içerisinde gerçekleşen 6 saatlik yağış	$X_3= 0,2P_2$
4	Akım/Debi Faktörü R= Yüksek akım; Q_p= 1 yılda meydana gelen en yüksek boşaltım	$X_4= 0,006R+10Q_p$
5	Eğim / Topoğrafya Faktörü S= Yüzde eğim değeri	$X_5= 0,33S$
6	Yüzey Kapalılığı Faktörü P_b= Yüzey kapalılık oranı (%)	$X_6= 0,2P_b$
7	Arazi Kullanımı Faktörü P_c= Gölgelik yüzde oranı (%)	$X_7= 20-0,2P_c$
8	Yüzey Erozyonu Faktörü SSF= Yüzey erozyonu toplamı	$X_8= 0,25SSF$
9	Kanal (Oyuntu) Erozyonu Faktörü SSF_g= Oyuntu erozyonu toplamı	$X_9= 1,67SSF_g$
$R= X_1+16,67K+0,2P_2+0,006R+10Q_p+0,33S+0,2P_b+(20-0,2P_c)+0,25SSF+1,67SSF_g$ Qs=Sediment verimi (t/ha/y); $0,253e^{0,036R}$ » e=2,718		

Kaynak: PSIAC, 1968; Johnson ve Gebhardt, 1982

Dünya genelinde farklı havzalarda ve çeşitli iklim bölgelerinde yapılan uygulamalarda başarılı sonuçlar veren MPSIAC yöntemi, Türkiye'de ise sınırlı sayıda

çalışmada kullanılmış olması nedeniyle, bu araştırmada özgün bir yöntem tercihi olarak yer bulmuştur.

Çok bileşenli yapısıyla dokuz farklı faktörü (Tablo 1) eş zamanlı olarak değerlendirebilmesi, yöntemin havza ölçeğinde kapsamlı bir tehlike analizi yapmaya olanak sağlamasını mümkün kılmıştır. Bu bağlamda, çalışmada hem saha gerçekliğine uygun hem de bilimsel temellere dayalı kapsamlı bir erozyon tehlike analizi yapılması hedeflenmiştir. Bu doğrultuda, yöntemde yer alan faktörler ve bu faktörlerin saha üzerindeki değerlendirme aşamaları aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır.

3.1.1.1. Anakaya Faktörü (X_1) Uygulama Aşamaları

Çalışmada, anakaya (jeoloji) faktörünün belirlenmesi amacıyla ilk aşamada Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından üretilmiş olan 1/25.000 ölçekli jeoloji paftaları temin edilmiştir. Bu paftalar, ArcMap 10.8.2 yazılımı kullanılarak sayısallaştırılmış ve çalışma sahasına özgü jeoloji haritası oluşturulmuştur.

Sayısallaştırma sürecinde yalnızca çalışma havzası değil, havzanın sınırını oluşturan su bölümü çizgisinin dışındaki jeolojik birimler de haritaya dâhil edilmiştir. Bu yaklaşım, ilerleyen aşamalarda gerçekleştirilecek olan Kriging regresyon (enterpolasyon) analizlerinde (ArcToolbox / Spatial Analyst Tools / Interpolation / Kriging) veri bütünlüğünü sağlamak ve analiz haritalarında boşluk oluşmasını engellemek amacıyla tercih edilmiştir.

Jeoloji haritasının oluşturulmasını takiben, her bir litolojik birimin sahada kapladığı alan hesaplanmış ve bu alan büyüklükleri dikkate alınarak Schmidt sertlik ölçüm istasyonları belirlenmiştir. Sahanın karakteristiğini yansıtmayan ve analiz sonuçlarını yanıltabilecek alüvyon, metakumtaşı–metaçakıltaşı–metapelit ve mermer gibi litolojik birimlere yönelik sertlik ölçümü yapılmamıştır. Sertlik ölçümleri, havzanın karakteristiğini temsil eden kayaç türleri üzerinde gerçekleştirilmiş ve şu şekilde planlanmıştır:

- Andezit–Tüf: 7 istasyon
- Çakıltaşı–Kumtaşı–Çamurtaşı ardalanması: 3 istasyon
- Metakırıntılı Kaya: 3 istasyon

- Kireçtaşı: 1 istasyon
- Aglomera: 1 istasyon
- Granodiyorit: 1 istasyon
- Kumtaşı–Çamurtaşı–Kireçtaşı ardalanması: 1 istasyon

Toplamda 17 istasyon üzerinde saha çalışmaları yapılmıştır (Tablo 2 ve Şekil 2).

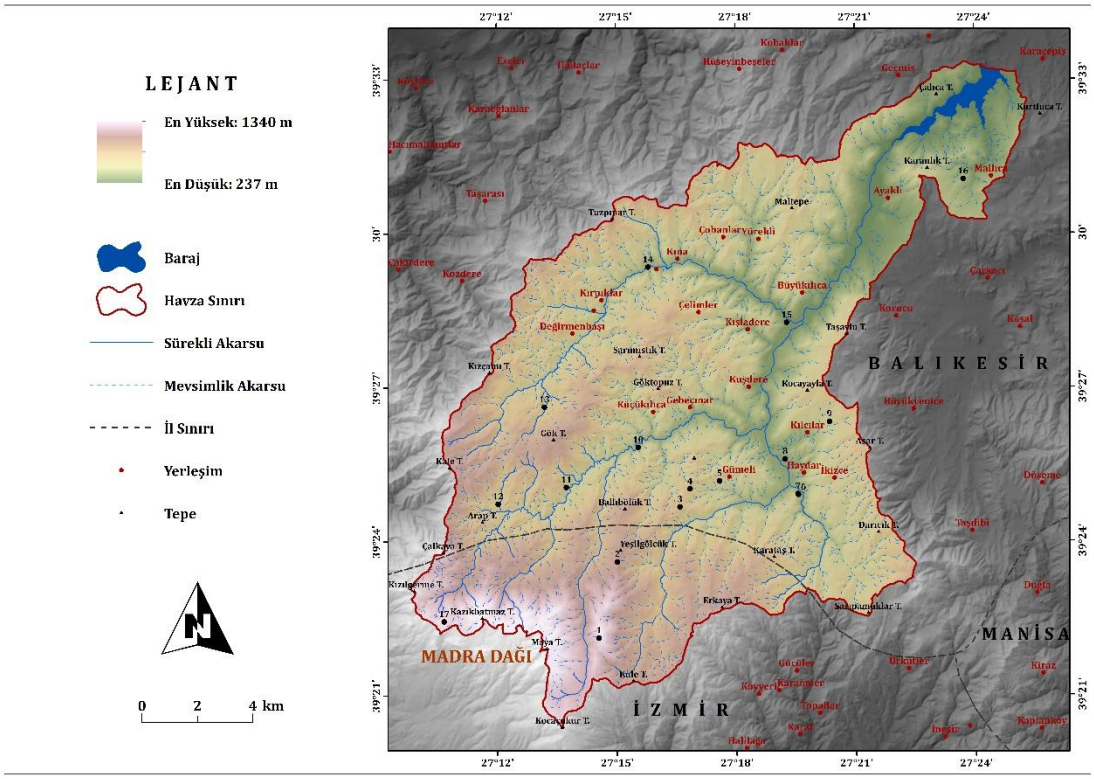
Tablo 2. Litolojik Birimlerin Kapladıkları Alan ile İstasyon Sayısına Oranı

Litolojik Birimler	Havzadaki Oranı (%)	İstasyon Sayısı	Bakı Yönü
Alüvyon	2,02	--	--
Kumtaşı Çamurtaşı Kireçtaşı	4,45	1	Doğu
Çakıltaşı Kumtaşı Çamurtaşı	14,91	3	Batı
Kireçtaşı	3,45	1	Doğu
Aglomera	2,38	1	Batı
Andezit – Tüf	48,84	7	Güneydoğu
Granodiyorit	2,38	1	Batı
Metakumtaşı Metaçakıltaşı Metapelit	0,26	--	--
Mermer	0,09	--	--
Metakırıntılı Kaya	21,21	3	Doğu

Kaynak: Orijinal

Her istasyonda ölçüm öncesi, kayaç yüzeyi tel fırça ile temizlenerek ölçüm yüzeyinin etkisiz yüzey örtülerinden arındırılması sağlanmış ve her ölçüm noktasında Schmidt çekici ile dokuz vuruş (Şekil 3) gerçekleştirilmiştir. Bu vuruş sayısı, ölçümlerde istatistiksel güvenilirliği sağlamak amacıyla tercih edilmiştir. Sertlik ölçümleri hem yaz dönemi hem de kış dönemi için ayrı ayrı yapılmış; elde edilen değerlerin ortalaması alınarak yıllık sertlik değerleri belirlenmiştir.

Bu sertlik değerleri kullanılarak, kayaçların bozunma (alterasyon) derecelerini göstermek amacıyla alterasyon katsayıları hesaplanmıştır (Bu hesaplama detayları "4.1.1.1.3. Havzadaki Litolojik Birimlerin Sertlik ve Alterasyon Durumu" bölümünde detaylandırılmıştır).



Şekil 2. Schmidt Çekici ile Ölçüm Yapılan Noktalar

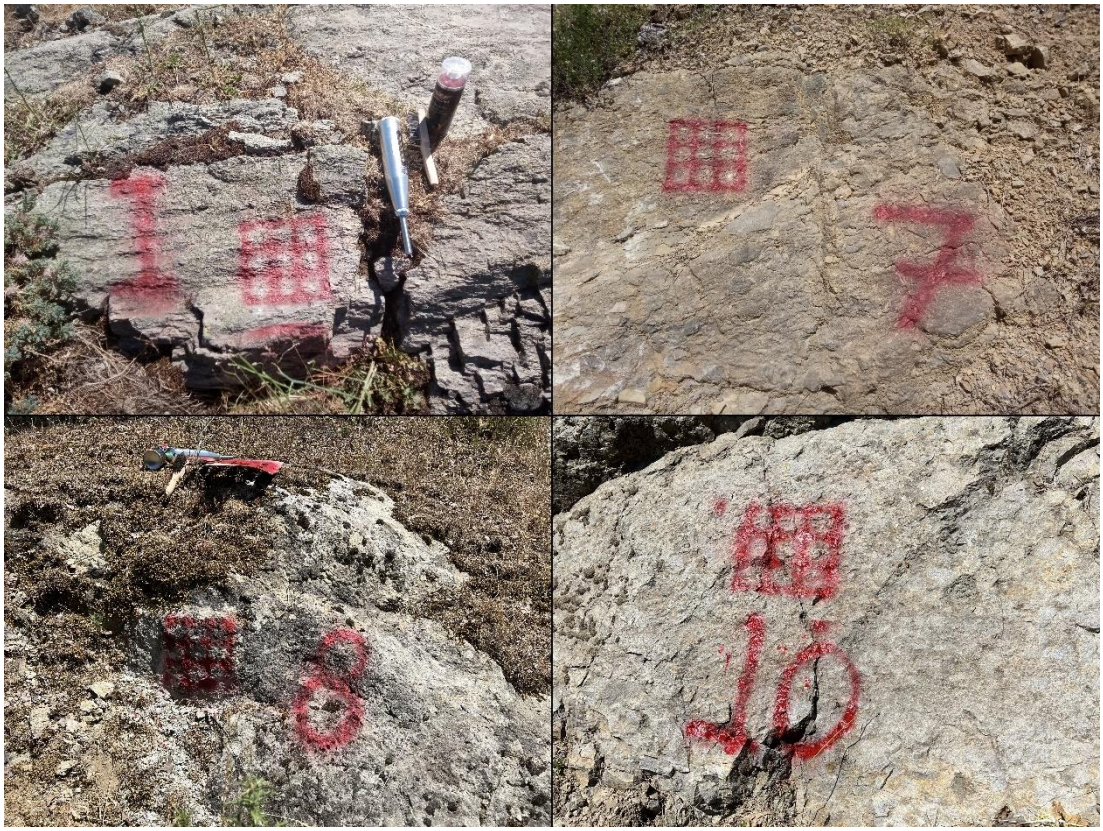
Kaynak: Orijinal

Sertlik ve alterasyon verilerinin analizinde, Kriging regresyon yöntemi uygulanabilmesi için çalışma alanı 1 km²'lik karelere bölünmüş (ArcToolbox / Data Management Tools / Sampling / Create Fishnet) ve her 1 km² alan için 4 örnekleme noktası atanmıştır.

Noktaların belirlenmesinde jeoloji ve bakı haritaları birlikte kullanılmış; örnekleme noktalarının aynı litolojik birim üzerinde ve aynı bakı yönünde seçilmesine özen gösterilmiştir. Örneğin, Andezit–Tüf biriminde hâkim bakı yönü güneydoğu olduğu için, bu kayaç birimindeki tüm örnekleme noktaları güneydoğu bakılı yüzeylerden seçilmiştir. Aynı yöntem diğer litolojik birimler için de uygulanmıştır (Tablo 2).

Nokta atama işlemi tamamlandıktan sonra, arazi çalışmalarından elde edilen sertlik değerleri ve bu değerlerden türetilen alterasyon katsayıları, her örnekleme

noktasına tanımlanmıştır. Bu işlem hem yaz dönemi hem kış dönemi hem de yıllık ortalamalar için ayrı ayrı yapılmış ve sonucunda sertlik ve alterasyon değerlerine ilişkin analiz haritaları oluşturulmuştur.



Şekil 3. Her Ölçüm İstasyonunda, Schmidt Çekici ile Yapılacak Vuruşlara Hazırlık Aşamasında, Kaya Yüzeyinde En Uygun Olan Pürüzsüz ve Çatlak İçermeyen Alanlar Tespit Edilmiştir. Ölçümün Standart Hale Getirilmesi ve Yüzey Değişkenliğinin Minimize Edilmesi Amacıyla, Belirlenen Alanlar 9 Eşit Kareye Bölünmüş ve Her Karede Birer Vuruş Olacak Şekilde Toplamda 9 Vuruş Gerçekleştirilmiştir.

Kaynak: Orijinal

Son aşamada, belirlenen 17 istasyona ait yıllık alterasyon katsayılarının ortalaması alınmış ve MPSIAC yönteminde kullanılacak olan $X_ı$ faktörü için temsil edici değer olarak kullanılmıştır.

3.1.1.2. Toprak Erodibilite (X_2) Faktörü Uygulama Aşamaları

Havzada yer alan büyük toprak gruplarının belirlenmesi amacıyla, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü tarafından yayınlanmış olan 1/25.000 ölçekli toprak paftaları, ArcMap 10.8.2 yazılımı kullanılarak sayısallaştırılmış ve çalışma alanına özgü büyük toprak grupları haritası hazırlanmıştır. Bu harita, saha genelinde toprak

gruplarının mekânsal dağılımını ortaya koymak ve MPSIAC yöntemi kapsamında toprak faktörünün değerlendirilmesi amacıyla oluşturulmuştur.

Havzada tespit edilen her bir büyük toprak grubundan iki adet arazi numunesi alınmıştır. Bu yaklaşım:

- Toprak özelliklerinin mikromorfolojik farklılıklar gösterebilmesi,
- Çevresel etkenlere bağlı olarak yerel varyasyonların oluşabilmesi,
- Ve analiz sonuçlarının istatistiksel güvenilirliğini artırmak gibi nedenlerle tercih edilmiştir. Böylece, toprak gruplarının genel karakteristiğini daha sağlıklı yansıtacak şekilde örnekleme yapılması sağlanmıştır.

Toprak numuneleri, Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak İnceleme Laboratuvarı tarafından analiz edilmiştir. Laboratuvarda gerçekleştirilen analizler şu parametreleri kapsamıştır:

- Toprak fiziksel özellikleri (kil, kum ve silt oranları),
- Organik madde miktarı (%),
- Toprak bünye sınıfları ve
- Toprak pH değeri.

Toprak fiziksel özellikleri ve organik madde miktarı, Foster Eşitliği'nin (Foster and Wischmeier, 1974) uygulanması için gerekli olan temel verilerdir. Kil, kum ve silt oranları, Foster Eşitliği'nde kullanılan "M" katsayısının hesaplanmasında; organik madde miktarı, eşitlikte yer alan "a" parametresinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Eşitlikte yer alan "b" ve "c" katsayıları ise, çalışmanın "4.1.1.2. Toprak Aşınabilirlik (Eroadibilite) (X_2) Faktörü" başlığında gerekçeleri ile birlikte detaylı şekilde açıklanmış ve uygulanmıştır.

Elde edilen Foster Eşitliği sonuçları hem bilimsel olarak yorumlanmış hem de ArcMap ortamında toprak katmanına tanımlanarak harita üzerine işlenmiştir. Bu amaçla, vektör yapıya sahip olan toprak grupları haritası üzerine yeni bir alan (Add Field) eklenmiş ve her toprak grubuna karşılık gelen toprak faktörü puanı veri tabanına girilmiştir. Ardından, analizlerin CBS'de kullanımı kolaylaştırmak ve raster tabanlı işlemlere uyum sağlamak amacıyla, vektör formatındaki toprak haritası polygon to raster işlemiyle raster formata dönüştürülmüştür. MPSIAC yönteminde öngörüldüğü şekilde, raster katmandaki değerler 16,67 katsayısı ile çarpılarak (ArcToolbox / Spatial

Analyst Tools / Map Algebra / Raster Calculator), MPSIAC Toprak Erodibilite Haritası oluşturulmuştur.

3.1.1.3. Yağış Erozyon (X_3) Faktörü Uygulama Aşamaları

İklim faktörünün değerlendirilmesi amacıyla, öncelikle Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (2022) İvrindi ilçesine ait yağış verileri temin edilmiştir. Çalışma sahası sınırları içerisinde uzun yıllara dayalı sürekli ölçüm yapan meteoroloji istasyonlarının bulunmaması nedeniyle, en yakın ve güvenilir veriyi sağlayacak olan İvrindi Meteoroloji İstasyonu tercih edilmiştir. Bu istasyonun verileri, havzanın iklimsel karakteristiğini temsil etmek amacıyla temel veri kaynağı olarak kullanılmıştır.

Ancak, bölgenin topoğrafik çeşitliliği ve yükselti farkları nedeniyle tek bir istasyon verisinin tüm havza için geçerli kabul edilmesi bilimsel açıdan yeterli görülmemiştir. Bu nedenle, Schreiber (1912) Formülü (Ph = Po + 54h) uygulanarak, farklı yükselti basamaklarına göre düzeltilmiş yağış değerleri hesaplanmıştır. Bu formülde;

Ph: Yağış miktarı bulunacak nokta,

Po: Yükseltisi bilinen ve yağış rasadı yapan bir istasyonun yağış tutarı,

h: Yağış değeri girilen istasyon ile yağış miktarı bulunacak nokta arasındaki yükselti farkı (metre cinsinden) olarak alınmış ve havzanın farklı kesimlerine özgü yağış dağılımı dengelenmiştir.

Sonraki aşamada, düzeltilmiş yağış değerleri kullanılarak, Düzeltilmiş Fournier İndeksi (MFI) (Ferro, 1991) aracılığıyla R faktörü (yağış faktörü) değerleri hesaplanmıştır. MFI, yıllık yağış dağılımının şiddeti ve erozyon üzerindeki potansiyel etkisini değerlendirmede kullanılan ve özellikle iklimsel erozyon modellerinde sıkça başvurulan bir indekstir. Hesaplamalar, Microsoft Excel ortamında formül bazlı olarak yapılmış ve havzanın yağışa bağlı erozyon potansiyeli R faktörü üzerinden sayısallaştırılmıştır. Ardından, Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) üzerinden elde edilen veriler, 100 metrelik yükselti basamaklarına göre sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma, yükseltiye bağlı olarak değişen yağış miktarlarını mekânsal olarak tanımlayabilmek ve iklim faktörünün saha üzerinde gösterdiği varyasyonu haritalandırmak amacıyla

gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, ArcMap ortamında vektör veri tabanına yeni bir alan (Add Field) eklenmiş ve bu alana her yükselti basamağına karşılık gelen R faktörü değerleri girilmiştir. Böylece, iklim faktörünün mekânsal temsilinin sağlanması ve sonraki aşamalarda yapılacak raster analizlerine uygun veri altyapısının oluşturulması sağlanmıştır. Son aşamada ise, vektör yapıda düzenlenmiş olan veri, raster formata dönüştürülmüş (polygon to raster) ve MPSIAC analizinde kullanılmak üzere, R faktörü değerleri raster katmanına aktarılmıştır. MPSIAC yöntemi gereği, elde edilen R raster değerleri 0,2 katsayısı ile çarpılarak, iklim faktörü temelli MPSIAC İklim Faktörü Haritası oluşturulmuştur.

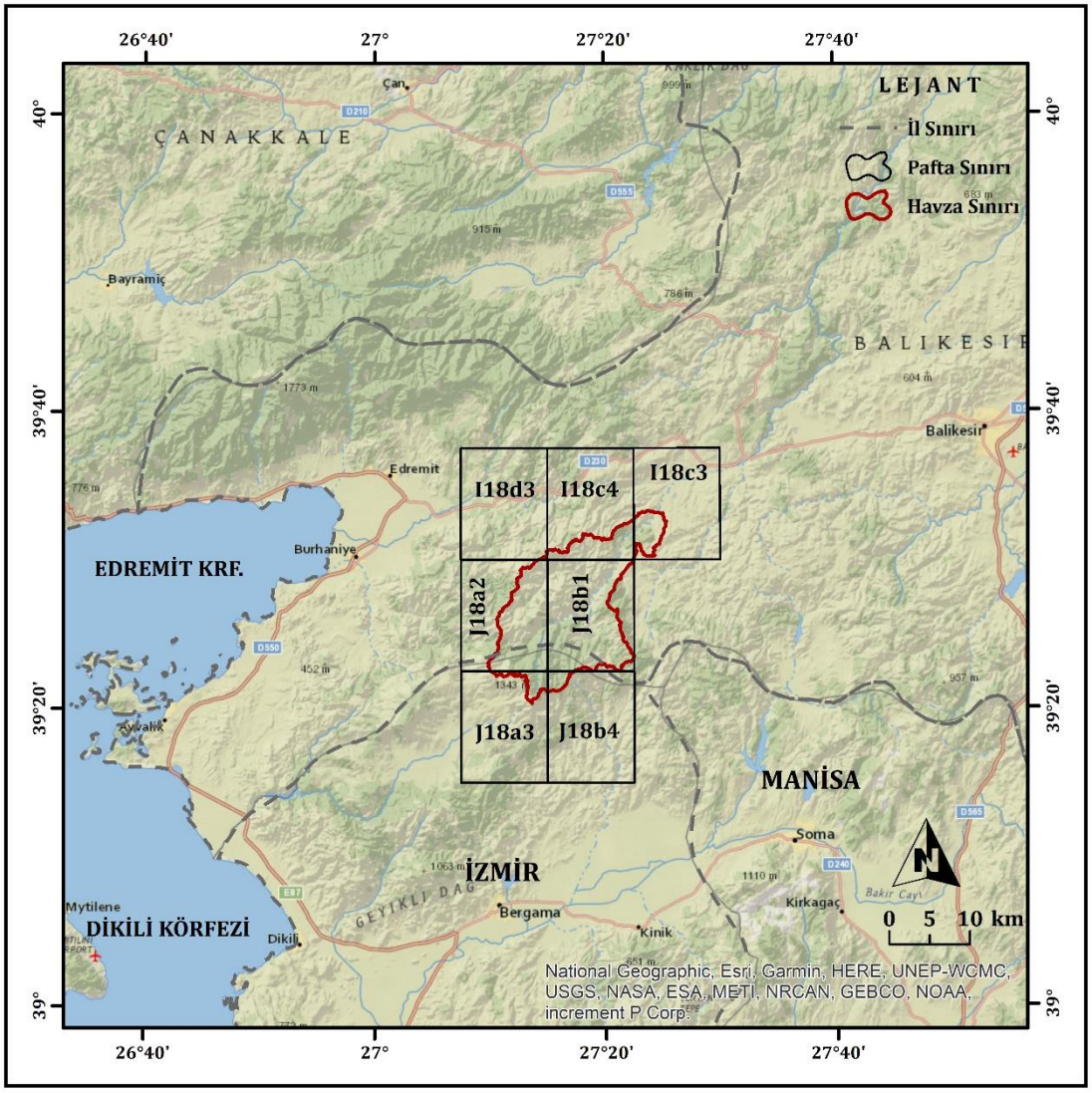
3.1.1.4. Akım - Debi (X_4) Faktörü Uygulama Aşamaları

Havzada akım/debi faktörünün belirlenebilmesi amacıyla, öncelikle Harita Genel Müdürlüğü'nden çalışma havzasına ait 1/25.000 ölçekli topografya paftaları (I18d3, I18c3, I18c4, J18a2, J18b1, J18b2, J18a3, J18b4, J18b3) (Şekil 4) temin edilmiştir. Bu paftalar üzerinde yer alan akarsu ağları manuel olarak sayısallaştırılmış, böylece detaylı bir drenaj haritası oluşturulmuştur. Havzanın sınırları ise su bölümü çizgisi baz alınarak belirlenmiş ve çalışmaya özgü havza sınır haritası ortaya konmuştur. Buna paralel olarak, Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü'nden temin edilen akım verileri, özellikle maksimum akış (pik debi) değerleri, akım-debi faktörünün hesaplanması aşamasında kullanılmak üzere toplanmış ve analiz sürecine dâhil edilmiştir.

Havzanın morfometrik özelliklerinin belirlenebilmesi ve akım–debi faktörünün erozyonla ilişkili yönünün değerlendirilmesi amacıyla, çizgisel, alansal ve rölyef morfometri analizleri gerçekleştirilmiş, bu kapsamda yalnızca erozyon potansiyelini doğrudan etkileyen morfometrik indisler (Tablo 3, Tablo 4, Tablo 5) tercih edilmiştir.

Drenaj yoğunluğu, saha verilerine dayalı formülasyonlar kullanılarak hesaplanmasının yanı sıra, ArcGIS ortamında coğrafi analizlerle de hesaplanmıştır. Bu amaçla, çalışma havzası 1 km²'lik karelere bölünmüş (ArcToolbox / Data Management Tools / Sampling / Create Fishnet) ve her bir kare için drenaj hattı yoğunluğu belirlenmiştir. Intersect aracı (ArcToolbox / Analyst Tools / Overlay / Intersect) kullanılarak, drenaj ağlarıyla kare grid yapısı örtüştürülmüş; sonrasında ise Join Data

işlemiyle iki katman birleştirilmiş ve sonuç olarak havzanın drenaj yoğunluk haritası elde edilmiştir.



Şekil 4. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın Pafta Taksimatı Haritası

Kaynak: Orijinal

Son aşamada, MPSIAC akım / debi faktör haritası oluşturulmuştur. Bu amaçla kullanılan MPSIAC Akım-Debi Faktörü Formülü (PSIAC, 1968; Johnson ve Gebhardt, 1982):

$X_4=0,006R+10Q_p$

Bu formülde:

R: Bir yıl içinde meydana gelen en yüksek anlık akım (pik debi) değerini ifade eder. Bu veri, su yılı değil, takvim yılı esas alınarak değerlendirilmiştir.

Q_p: Havza drenaj yoğunluğu değerini temsil eder.

Formülün uygulanması aşamasında ArcMap / Spatial Analyst Tools / Map Algebra / Raster Calculator aracı kullanılmış ve raster ortamında formül yazılarak analiz gerçekleştirilmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken kritik nokta, Q_p (drenaj yoğunluğu) katmanının raster formatında olması gerektiğidir. Bu format zorunluluğu, analizlerin hücre bazlı mekânsal çözümleme temelinde yapılabilmesi açısından önem arz etmektedir. Elde edilen akım–debi faktörü haritası, MPSIAC modellemesi kapsamında havzanın hidrolojik özelliklerinin erozyon potansiyeline olan etkisini analiz etmek amacıyla kullanılmıştır.

Tablo 3. Çalışma Alanında Hesaplanan Çizgisel Morfometri İndisleri ve Erozyon ile İlişkisi

Çizgisel Morfometri	Erozyonla İlişkisi
Çatallanma Oranı (Rb) / Bifurcation Ratio	Drenaj yoğunluğu ve akarsu ağının gelişimi erozyon potansiyelini yansıtır.
Yüzeysel Akış Uzunluğu (L_o) / Length of Overland Flow	Yüzey akış mesafesi kısa olan alanlarda erozyon riski artar.
Dağ Önü Sinüsite (Smf) İndeksi / Mountain Front Sinuosity	Dağ önü çizgisi boyunca tektonik hareketlerin kontrolündeki erozyon dinamiklerini gösterir.
Tekstür Oranı (T) / Texture Ratio	Drenaj ağı sıklığı, yüzeyin ne kadar dissecte olduğunu ve erozyon hassasiyetini yansıtır.
Drenaj Tekstür Oranı (R_t) / Drainage Texture Ratio	Drenaj yoğunluğu ile yüzey aşınım potansiyeli arasındaki ilişkiyi ifade eder.

Kaynak: Orijinal

Tablo 4. Çalışma Alanında Hesaplanan Alansal Morfometri İndisleri ve Erozyon ile İlişkisi

Alansal Morfometri	Erozyonla İlişkisi
Drenaj Yoğunluğu (D_d) / Drainage Density	Drenaj ağı sıklaştıkça yüzey akışı ve dolayısıyla erozyon artar.
Akarsu Sıklığı (Fs) / Stream Frequency	Akarsu sıklığı arttıkça yüzeydeki akış konsantrasyonu ve erozyon potansiyeli yükselir.

Tablo 4 - devamı

Havza Şekli (RF) / Basin Shape	Drenaj havzasının şekli, akış yoğunluğunu ve dolaylı olarak erozyon şiddetini belirler.
Lemniskat (Kelebek Eğrisi) Oranı (K) / Lemniscate Ratio	Havzanın kompaktlığı erozyon süreçlerini etkileyen su toplama dinamiklerini açıklar.
Gravelius İndeksi (Kg) / Gravelius Index	Havza çevresi ve şekli üzerinden su akışı ve erozyon eğilimini gösterir.
Asimetri Faktörü (AF) / Asymmetry Factor	Tektonik etkilerin yönlendirdiği asimetrik gelişim, drenaj sisteminde erozyon yönelimini etkiler.

Kaynak: Orijinal

Tablo 5. Çalışma Alanında Hesaplanan Rölyef Morfometri İndisleri ve Erozyon ile İlişkisi

Rölyef Morfometri	**Erozyonla İlişkisi**
Havza Rölyef (B_h) / Basin Relief	Topoğrafik yükselti farkı, potansiyel enerji ve erozyon gücüyle ilişkilidir.
Rölyef Oranı (R_h) / Relief Ratio	Yükseklik ve uzunluk oranı, eğimle birlikte erozyon şiddetini artırır.
Engebelilik Değeri (R_n) / Ruggedness Number	Topoğrafyanın pürüzlülüğü yüzey aşınımını doğrudan etkiler.
V_f İndeksi / Valley Floor Width–Valley Height Ratio	Vadinin gençliği ve aşınma evresi, aktif erozyonun göstergesidir.
Yükselti Frekans Histogramı / Elevation Frequency Histogram	Arazinin aşınma evresini ve erozyonun yükseklik kademelerine etkisini dolaylı olarak gösterir.
Hipsometrik Eğri / Hypsometric Curve	Havzanın aşınma aşamasıyla ilişkili olarak erozyon sürecini tanımlar.
Hipsometrik İntegral / Hypsometric Integral	Havzanın topoğrafik gelişim aşaması ve buna bağlı erozyon potansiyelini ortaya koyar.

Kaynak: Orijinal

3.1.1.5. Eğim / Topoğrafya (X_5) Faktörü Uygulama Aşamaları

Çalışma alanının topografik ve jeomorfolojik özelliklerinin detaylı olarak ortaya konabilmesi amacıyla, ilk aşamada profil serileri, hipsometrik eğri ve hipsometrik integral analizleri birlikte değerlendirilmiş ve bu veriler doğrultusunda jeomorfoloji haritası hazırlanmıştır. Jeomorfolojik sınıflandırma yapılırken, sahaya ilişkin topoğrafya, jeoloji, yükselti basamakları, yarılma derecesi, eğim ve bakı gibi temel morfometrik haritalardan da yararlanılmıştır. Böylece, arazi üzerindeki farklı jeomorfolojik birimler arasında yer alan morfolojik sınırlar net bir şekilde ortaya konmuş ve çalışma alanındaki jeomorfolojik ünitelerin alansal ve oransal dağılımları hesaplanmıştır.

Bu aşamanın ardından, eğim analizi (ArcToolbox / 3D Analyst Tools / Raster Surface / Slope) ve eğrilik analizi (ArcToolbox / Spatial Analyst Tools / Surface / Curvature) gerçekleştirilmiştir. Eğim analizi, yüzey şeklinin eğim değerlerine göre dağılımını belirleyerek, yüzey akışı ve buna bağlı erozyon potansiyelinin değerlendirilmesi amacıyla uygulanmıştır. Eğim, suyun hareketini, akış hızını ve yüzeysel erozyon şiddetini doğrudan etkileyen temel parametrelerden biridir. Eğrilik analizi ise yüzeyin iç bükey (konkav), dış bükey (konveks) veya düz olma durumlarını ortaya koyarak, suyun yüzeydeki akış ve birikim özelliklerinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Eğrilik verisi, akış yönleri, suyun konsantrasyon eğilimleri ve potansiyel erozyon alanlarının tespitinde önemli bir yüzey parametresi olarak değerlendirilmiştir.

Son aşamada, MPSIAC analizine uygun olarak eğim faktörü haritası hazırlanmıştır. Bu amaçla, oluşturulan eğim haritası ArcGIS ortamında Map Algebra / Raster Calculator aracı kullanılarak, 0,33 katsayısı ile çarpılmış ve eğim/topoğrafya faktörü raster haritası elde edilmiştir. Bu işlem, MPSIAC yönteminde eğim faktörünün sediment verimi üzerindeki ağırlığının matematiksel olarak modele dahil edilmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Eğim ve yüzey eğrilik analizleri sonucunda oluşturulan faktör haritası, çalışma sahasında yüzey akışıyla birlikte gelişen erozyon süreçlerinin mekânsal olarak modellenmesine olanak sağlamıştır.

3.1.1.6. Arazi Yüzey Kapalılık (X_6) Faktörü Uygulama Aşamaları

Araştırma sahasında bitki örtüsünün erozyon üzerindeki koruyucu etkisini değerlendirebilmek amacıyla, Orman Bölge Müdürlüğü'nden temin edilen güncel arazi verileri (2024) kullanılarak bitki örtüsü kapalılık durumu analiz edilmiştir. Elde edilen bu veriler, ArcGIS 10.8.2 yazılımı kullanılarak sayısallaştırılmış ve kapalılık oranlarını içeren tematik bir harita oluşturulmuştur.

Söz konusu haritada kullanılan sınıflandırma; Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkanlığı (2012) verilerine dayandırılmış olup şu şekilde yapılmıştır:

- <10– Boşluklu
- 11–40 – Gevşek
- 41–70 – Orta
- >70 – Kapalı / Tam Kapalı.

Bu sınıflandırma, bitki örtüsünün yüzeysel akışa karşı ne düzeyde koruyucu etkide bulunabileceğini değerlendirmede temel alınmıştır. Her sınıfa ait alansal (ha) ve oransal (%) dağılım hesaplanarak, araştırma sahasındaki erozyon riski açısından potansiyel açık ve korunaksız alanlar belirlenmiştir.

Ayrıca, her kapalılık sınıfı içerisinde yer alan bitki türleri detaylı bir şekilde incelenmiş; bu türlerin kök yapısı, yayılış biçimi, örtücülüğü gibi özellikleri göz önünde bulundurularak arazi kullanım biçimleri ile ilişkilendirilmiştir. Özellikle orman, çalılık vejetasyonları ile maki türlerinin erozyon kontrolündeki işlevleri yorumlanmış; açık alanlarda ot formasyonlarının etkisizliği vurgulanmıştır.

Son aşamada, oluşturulan vektör yapıdaki kapalılık katmanı, Polygon to Raster aracı ile raster formata dönüştürülmüş ve MPSIAC Yöntemi'ne özgü X_6 faktörü katsayısı olan 0,2 ile çarpılarak kapalılık faktör haritası oluşturulmuştur. Bu işlem, bitki örtüsünün alan üzerindeki dağılımının alansal olarak modellemeye entegre edilmesini sağlamış ve analiz çıktılarının sayısal değerlendirmeye uygun hale getirilmesine olanak tanımıştır.

3.1.1.7. Arazi Örtüsü ve Kullanımı (X_7) Faktörü Uygulama Aşamaları

Araştırma sahasında arazi örtüsü ve kullanım biçimlerinin erozyon süreçlerine olan etkisini değerlendirmek amacıyla, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü tarafından

yayınlanmış olan 1/25.000 ölçekli arazi örtüsü ve kullanım verileri (1999) ArcGIS (10.8.2) ortamında sayısallaştırılmıştır. Sayısallaştırma sürecinde, her bir arazi kullanım sınıfı ayrı katmanlara ayrılarak tematik haritalar oluşturulmuştur.

Sayısallaştırma işleminden sonra, her bir arazi kullanım tipinin kapladığı yüzey alanı (ha) ve toplam alana oranla yüzdesel dağılımları hesaplanmıştır. Bu analizler Microsoft Excel programı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve MPSIAC metodolojisinde kullanılacak yüzdesel örtü yoğunluğu verileri (P_c) elde edilmiştir.

Arazi kullanım sınıflarına karşılık gelen C faktör değerleri, çok sayıda literatür kaynağından derlenerek bölge koşullarına uyarlanmıştır (Renard vd., 1997; İrvem ve Tülücü, 2004; Kızılelma ve Karabulut, 2014; Panagos vd., 2014). C faktörü, her bir arazi kullanım sınıfının yağış-akış etkileşimine karşı gösterdiği direnç derecesini yansıtan bir katsayıdır ve özellikle bitki örtüsü yoğunluğu, arazi işlenme durumu, toprak yüzeyinin korunma seviyesi gibi parametrelere göre değişkenlik göstermektedir.

Elde edilen yüzdesel C faktör değerleri, ArcMap ortamında vektör tabanlı veri katmanlarına öznitelik olarak girilmiş, ardından Polygon to Raster aracı ile raster yapıya dönüştürülmüştür. Son aşamada ise MPSIAC Yöntemi'ne özgü arazi örtüsü ve kullanım faktörüne ilişkin X_7 katsayısı, "$X_7 = 20 – (0{,}2 \times P_c)$" formülü kullanılarak hesaplanmış ve bu formül Raster Calculator aracıyla mekânsal modele entegre edilmiştir. Buradaki P_c, yüzde olarak ifade edilen C faktör oranıdır ve örtü yoğunluğuna bağlı olarak arazinin erozyona karşı koruma kapasitesini temsil etmektedir.

Bu yöntem sayesinde, araştırma sahasındaki farklı arazi kullanım tiplerinin erozyona karşı duyarlılık düzeyleri nicel olarak değerlendirilmiş ve MPSIAC analizinin önemli girdilerinden biri olan X_7 faktörü mekânsal olarak modellenmiştir.

3.1.1.8. Yüzey Erozyon (X_8) Faktörü Uygulama Aşamaları

MPSIAC yönteminde yer alan yüzey erozyonu faktörü (X_8), araştırma sahasındaki topografyanın yüzey akışı ve erozyon süreçlerine etkisini değerlendirmek üzere sayısal topoğrafya analizleriyle belirlenmiştir. Bu kapsamda ilk olarak Bileşik Topografik İndeks (BTİ) ya da literatürdeki yaygın adıyla Compound Topographic

Index (CTI) hesaplanmıştır. CTI; yüzey suyu akış yolları, toprağın nem birikimi eğilimleri ve erozyona açıklık seviyeleri hakkında kantitatif bilgi sunan hidro-topoğrafik bir göstergedir (Moore vd., 1991).

CTI, akış birikimi ve eğim değerlerini esas alan aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır:

CTI=Ln(akış toplamı +.001)/(eğim/100)+.001

Ln: Doğal Logaritma

Eğim: Radyan cinsinden ifade edilmelidir.

Elde edilen CTI değerleri yardımıyla baraj havzasına ait BTİ raster haritası üretilmiştir. BTİ haritası, yüzey akışının nerelerde yoğunlaştığını, hangi bölgelerde su birikimi eğilimlerinin daha fazla olduğunu ve bu bölgelerin erozyon açısından nasıl bir risk profiline sahip olduğunu belirlemede kullanılmıştır.

MPSIAC yöntemine özgü olarak yüzey erozyon faktörü X_8, BTİ değerlerine dayalı olarak şu formülle hesaplanmıştır (PSIAC, 1968; Johnson ve Gebhardt, 1982):

$X_8=0,25\times CTI$

Bu çarpan, MPSIAC metodolojisinde topografik etkilerin normalize edilmesi ve farklı havzalar arasında karşılaştırılabilir bir ölçüt oluşturulması amacıyla önerilmiştir (PSIAC, 1968). Elde edilen X_8 faktör haritası, MPSIAC toplam puanlamasında kritik rol oynamaktadır çünkü topografyanın yüzey akış dinamikleri, özellikle kısa süreli şiddetli yağışlarla tetiklenen yüzeysel erozyonun başlıca belirleyicilerinden biridir.

Bu uygulama aşamalarıyla, çalışma sahasında topoğrafyanın erozyon süreçlerine etkisi mekânsal ve kantitatif olarak modellenmiş ve MPSIAC metodolojisinin önemli bir bileşeni başarıyla hesaplanmıştır.

3.1.1.9. Kanal (Oyuntu) Erozyon (X_9) Faktörü Uygulama Aşamaları

MPSIAC yönteminin dokuzuncu ve son faktörü olan Kanal Erozyonu Faktörü (X_9), araştırma sahasında meydana gelen oyuntu (gully) ve kanal içi erozyon süreçlerinin mekânsal dağılımını analiz etmek amacıyla hesaplanmıştır. Bu faktör,

yüzey akışının kanalize olduğu güzergâhlarda taşıma gücünü ve aşındırıcı etkisini değerlendirmede kritik rol oynamaktadır.

Bu doğrultuda, ilk olarak Akış Gücü İndeksi (Stream Power Index - SPI) hesaplanmıştır. SPI; bir noktanın topoğrafik konumuna göre yüzey akışının kinetik enerjisini temsil eden ve özellikle kanal oyulması potansiyelini ortaya koyan jeomorfolojik bir göstergedir (Moore vd., 1991; Galzki vd., 2015). SPI, hem akış birikimi hem de eğim değerlerini aynı anda dikkate alan bir yapıya sahiptir.

SPI değeri aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır:

SPI= Ln(akış toplamı+.001)*((eğim /100)+.001)

Bu formülde:

Akış toplamı, yukarı havzadan gelen yüzey akışının yoğunluğunu,

Eğim (%), yer çekimi etkisiyle oluşan taşıma kuvvetini temsil eder.

Elde edilen SPI raster verisi, MPSIAC sistemindeki X_9 faktörüne dönüştürülmeden önce sabit bir katsayıyla çarpılmıştır. MPSIAC kanal erozyonu formülü şu şekildedir (PSIAC, 1968; Johnson ve Gebhardt, 1982):

X_9= 1,67*SPI

Bu çarpan (1,67), orijinal PSIAC (1968) raporlarında yer alan normalize edici sabitlerden biridir ve kanal içi erozyonun toplam sediment verimi üzerindeki etkisini orantılamak amacıyla kullanılmaktadır.

SPI verileri yardımıyla oluşturulan Kanal Erozyonu Faktör Haritası, akarsu yataklarının eğimle birleşen taşıma gücü potansiyelini sayısal olarak yansıtmaktadır. Böylece hem oyuntu erozyonu riskinin mekânsal dağılımı hem de bu sürecin şiddeti bölgesel ölçekte görselleştirilmiş ve değerlendirilmiş olur.

3.1.2. RUSLE Yöntemi Uygulama Aşamaları

Arazi kullanımına dayalı erozyon analizlerinde yaygın biçimde tercih edilen RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) yöntemi, yüzeysel akışla taşınan yıllık toprak kaybını tahmin etmek amacıyla geliştirilmiş ve farklı iklim, toprak ve arazi koşullarına başarıyla uyarlanabilen ampirik bir modeldir. RUSLE; erozyon sürecini etkileyen beş temel faktörü (R: yağış erojivitesi, K: toprak erodibilitesi, LS: topografik

eğim ve uzunluk, C: örtü yönetimi, P: destekleme uygulamaları) esas alarak, özellikle yağışla taşınan yüzeysel toprak kaybının nicel analizinde etkin sonuçlar sunar. Bu bağlamda, çalışma sahasının morfolojik ve pedolojik özellikleri dikkate alınarak, RUSLE faktörleri ayrı ayrı hesaplanmış ve model aracılığıyla yıllık ortalama toprak kaybı (ton/ha/yıl) belirlenmiştir. Modelin uygulanmasında CBS olanaklarından yararlanılmış; her bir faktör, mekânsal verilerle analiz edilerek raster tabanlı tematik haritalar oluşturulmuştur. Çalışmanın bu aşamasında, RUSLE faktörlerinin nasıl hesaplandığı ve haritalama süreçlerinin detayları sistematik bir biçimde açıklanacaktır.

3.1.2.1. Yağış Erozif (R) Faktörü Uygulama Aşamaları

Yağışa bağlı erozyon potansiyelini temsil eden R faktörü, RUSLE modelinde kritik bir değişkendir. Bu faktörün doğru hesaplanabilmesi amacıyla, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (2022) İvrindi ilçesine ait uzun yıllara dayalı aylık yağış verileri temin edilmiştir. Çalışma sahasında sürekli rasat yapan otomatik yağış ölçer sistemlerin (plüvyograf) bulunmaması nedeniyle, EI30 esaslı klasik R hesaplaması mümkün olmamış; bunun yerine, veri uygunluğuna dayanarak Düzeltilmiş Fournier İndeksi (Modified Fournier Index - MFI) yöntemi tercih edilmiştir.

Çalışma alanının farklı yükselti basamaklarında yağış dağılımının temsili için, Schreiber formülü (Ph = Po + 54h) uygulanarak her 100 metrelik yükselti dilimi için düzeltilmiş yıllık yağış değerleri hesaplanmıştır. Bu yöntemle elde edilen Ph değerleri, havzanın orografik etkilerle değişen iklimsel karakteristiğini daha gerçekçi yansıtmıştır.

Daha sonra, MFI formülü kullanılarak her yükselti basamağı için R faktörü hesaplanmıştır. MFI, yıllık yağışın aylık dağılımına bağlı olarak erozyon üzerindeki etkisini ifade eden bir indekstir ve özellikle EI30 verisinin bulunmadığı durumlarda alternatif ve geçerli bir yöntem olarak kabul görmektedir. Hesaplamalar Microsoft Excel ortamında yapılmış ve mekânsal temsiliyet için bu değerler ArcMap yazılımında ilgili yükselti dilimlerine işlenmiştir.

ArcMap üzerinde oluşturulan Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), 100 metrelik dilimlere ayrılarak sınıflandırılmış ve her dilime karşılık gelen R faktörü değeri vektör veri tabanına (Add Field) girilmiştir. Son olarak, bu vektör katman raster yapıya

dönüştürülmüş (polygon to raster) ve RUSLE yöntemi kapsamında mekânsal analizlere uygun hale getirilmiştir.

3.1.2.2. Toprak Erodibilite (K) Faktörü Uygulama Aşamaları

RUSLE yönteminde toprak erodibilite katsayısı (K faktörü), toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak erozyona karşı gösterdikleri duyarlılığı ifade eder. Bu kapsamda, çalışmada yer alan toprak birimlerinin mekânsal dağılımını ortaya koymak ve K faktörünü hesaplamak amacıyla, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü'nden temin edilen 1/25.000 ölçekli toprak paftaları, ArcMap 10.8.2 yazılımı kullanılarak sayısallaştırılmış ve çalışma alanına özgü büyük toprak grupları haritası oluşturulmuştur.

Havzada tespit edilen her bir büyük toprak grubundan iki adet arazi numunesi alınmıştır. Bu örnekleme yöntemi şu gerekçelere dayanmaktadır:

- Toprak gruplarının içsel varyasyonlarını temsil edebilmek,
- Mikromorfolojik farkların analiz sonuçlarına etkisini azaltmak,
- Ve analizlerin istatistiksel güvenilirliğini artırmak.

Toprak numuneleri, Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak İnceleme Laboratuvarı'nda analiz edilmiştir. Laboratuvar analizleri kapsamında aşağıdaki veriler elde edilmiştir:

- Toprak fiziksel özellikleri: Kil (%), kum (%) ve silt (%) oranları,
- Organik madde miktarı (%),
- Toprak bünye sınıfları ve
- pH değerleri.

Bu veriler, RUSLE yönteminde yaygın olarak kullanılan Foster ve Wischmeier (1974) eşitliğiyle toprak erodibilite katsayısının (K) hesaplanmasında kullanılmıştır. Eşitlikte:

- Kil, kum ve silt oranlarıyla "M" değeri hesaplanmış,
- Organik madde miktarı "a" katsayısına doğrudan aktarılmış,

- Diğer katsayılar (b ve c) ise literatüre dayalı olarak belirlenmiş ve bu katsayıların gerekçeleri "4.1.2.2. Toprak Erodibilite (K) Faktörü" başlığında detaylı şekilde açıklanmıştır.

Elde edilen K faktörü değerleri, ArcMap ortamında vektör veri tabanına işlenmiştir. Her bir büyük toprak grubuna karşılık gelen K değerleri, vektör veri katmanına yeni bir alan (Add Field) açılarak girilmiş ve toprak gruplarının erozyon duyarlılığı mekânsal olarak temsil edilmiştir. Son olarak, vektör formatındaki harita polygon to raster aracı kullanılarak raster forma dönüştürülmüş ve RUSLE analizlerine uygun hale getirilmiştir.

3.1.2.3. Yamaç Eğim Uzunluğu (L) ve Eğim Derecesi (S) Faktörü Uygulama Aşamaları

RUSLE modelinde LS faktörü, arazinin yüzey şekillerine bağlı olarak toprak kaybını etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Bu faktör, yamaç uzunluğu (L) ile eğim derecesi (S) değişkenlerinin birlikte değerlendirilmesiyle elde edilir. Özellikle topografik eğim değerinin artması, yüzey akışının hızlanmasına ve dolayısıyla erozyon riskinin önemli ölçüde yükselmesine neden olur. Yamaç uzunluğu ise yüzey suyu akışının erozyona neden olabileceği mesafeyi temsil ettiğinden, her iki parametrenin doğru şekilde modellenmesi büyük önem taşır.

Bu çalışmada LS faktörünün hesaplanmasında Desmet ve Govers (1996) tarafından önerilen ve özellikle raster temelli analizlerde yüksek doğruluk sağlayan aşağıdaki formül kullanılmıştır:

$$\boldsymbol{LS = (m+1)\left(\frac{A_s}{22.13}\right)^m \left(\frac{\sin\beta}{0.0896}\right)^n}$$

A_s: Akış birikim alanı (m^2),

β: Eğim açısı (derece),

m: Akış birikim alanına bağlı olarak değişen katsayı (genellikle 0.2 – 0.6 arası),

n: Eğim duyarlılık katsayısıdır.

Uygulama Aşamaları:

- Sayısal Yükselti Modeli (SYM) kullanılarak çalışma sahasına ait detaylı bir eğim analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analiz, eğim yüzdelerini gösteren bir raster veri olarak üretilmiştir.
- Ardından, akım yönü (Flow Direction) ve akım birikimi (Flow Accumulation) analizleri yapılmıştır. Bu işlemler, topografik akış yollarının belirlenmesini ve her pikselin ne kadar su biriktirdiğini göstermek amacıyla uygulanmıştır.
- Elde edilen bu veriler, yukarıda belirtilen LS formülüne entegre edilmiştir. ArcGIS ortamında Raster Calculator aracı ile formül parametreleri girilerek LS faktör haritası oluşturulmuştur.
- LS değeri her bir piksel için ayrı ayrı hesaplandığı için, sonuç raster haritası, yüzeysel toprak kaybı potansiyelinin sahada mekânsal olarak nasıl dağıldığını gösterecek şekilde tasarlanmıştır. Bu sayede, özellikle eğimli ve uzun yamaçlara sahip alanlarda erozyon riskinin daha yüksek olduğu ortaya konmuştur.
- Analizin ardından elde edilen LS faktörü, RUSLE denkleminde kullanılmak üzere raster veri formatında kaydedilmiş ve erozyon potansiyelinin mekânsal modellemesinde kullanılmıştır.

3.1.2.4. Arazi Örtüsü (C) Faktörü Uygulama Aşamaları

RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) modelinde arazi örtüsü ve kullanımı, erozyon üzerinde doğrudan etkili olan ve yüzeyin korunma derecesini yansıtan en önemli faktörlerden biridir. Bu doğrultuda, araştırma alanındaki mevcut arazi kullanım biçimlerinin erozyon süreçlerine etkisini analiz edebilmek amacıyla, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü'nden temin edilen 1/25.000 ölçekli arazi örtüsü ve kullanım verileri ArcGIS 10.8.2 ortamında sayısallaştırılmıştır.

Sayısallaştırma sürecinde her bir arazi kullanım türü ayrı tematik katmanlar hâline getirilerek mekânsal analiz için uygun veri altyapısı oluşturulmuştur. Bu işlem sonrasında, her arazi kullanım sınıfının yüzeysel kapladığı alan (hektar cinsinden) ve toplam havza alanına oranla yüzdesel dağılımı hesaplanmıştır. Bu analizler Microsoft Excel yazılımı aracılığıyla gerçekleştirilmiş ve haritalarla entegre edilmek üzere hazır hâle getirilmiştir.

RUSLE modelinde C faktörü, farklı arazi örtüsü tiplerinin yağış ve yüzey akışı kaynaklı erozyon süreçlerine karşı ne ölçüde direnç gösterdiğini ifade eden boyutsuz bir katsayıdır. Bu katsayı, bitki örtüsü yoğunluğu, bitki tipi, örtünün devamlılığı, toprak işleme durumu gibi birçok parametreye bağlı olarak değişkenlik gösterir. Bu nedenle çalışma sahasında yer alan arazi kullanım sınıflarına ait C faktör değerleri, güncel literatürden (Renard vd., 1997; İrvem ve Tülücü, 2004; Kızılelma ve Karabulut, 2014; Panagos vd., 2014) derlenmiş ve çalışma sahasının ekolojik ve arazi kullanım koşullarına göre uyarlanmıştır.

Elde edilen C değerleri, ArcMap ortamındaki vektör veri katmanlarına öznitelik verisi olarak girilmiştir. Bu sayede her bir arazi örtüsü birimine karşılık gelen erozyon katsayısı, coğrafi olarak temsil edilmiştir. Son aşamada, analizlerin raster tabanlı devam edebilmesi ve mekânsal modellemeye entegre edilebilmesi amacıyla, bu vektör veri katmanı Polygon to Raster aracı kullanılarak raster formata dönüştürülmüştür.

Bu işlem sonucunda, havzanın arazi örtüsü ve kullanım özelliklerine bağlı olarak erozyona duyarlılık düzeylerini yansıtan RUSLE C faktör haritası elde edilmiştir. Bu harita, modelleme sürecinde erozyonun mekânsal dağılımının doğru şekilde analiz edilmesini sağlamaktadır.

3.1.2.5. Erozyon Koruma Uygulamaları (P) Faktörünün Uygulama Aşamaları

Ardıçtepe Barajı Havzası'nda P faktörü uygulamasının mekânsal olarak belirlenebilmesi için öncelikle Orman Bölge Müdürlüğü tarafından sağlanan erozyon kontrolüne yönelik toprak koruma projeleri incelenmiştir. Bu projeler, havza içerisinde aktif olarak sürdürülen veya yakın dönemde başlatılması planlanan biyoteknik ve fiziksel toprak koruma uygulamalarını kapsamaktadır.

İlgili kurumlardan elde edilen belgeler doğrultusunda, havza içinde "Değirmenbaşı" ve "Küçükılıca" alt havzalarında kapsamlı bir erozyon kontrol planlaması yürütüldüğü tespit edilmiştir. Bu alt havzalarda yer alan projelerde; miks eşik, kafes tel eşik ve kuru taş duvar eşik gibi yapılarla oyuntu ıslahı hedeflenmiş, ayrıca akış yollarında suyun hızını azaltmaya yönelik mühendislik yapıları

önerilmiştir. Bu yapılar, RUSLE metodolojisinde akış rejimini düzenleyen ve sediment taşınımını azaltan önlemler kapsamında değerlendirilmiştir.

Projelerin uygulama alanları, ArcGIS 10.8.2 ortamında polygon (çokgen) veri formatında sayısallaştırılarak mekânsal olarak haritalanmıştır. Bu alanlara literatür destekli olarak (Renard et al., 1997; Morgan, 2005) uygun P faktör değerleri atanmıştır. Özellikle yoğun eşik yapılarının planlandığı sahalarda P=0.2, daha seyrek uygulamalarda ise P=0.3 gibi değerler kullanılmıştır. Bu değerler, uygulamanın etkinliği, kullanılan mühendislik yapısı türü ve proje alanının topoğrafik özellikleri dikkate alınarak belirlenmiştir.

Koruyucu önlemlerin dışında kalan havza bölümlerinde ise P faktörü hesaplaması yapılmamış, bu alanlarda herhangi bir aktif koruma uygulamasının bulunmadığı kabul edilmiştir. Böylece doğrudan müdahale edilen ve edilmeyen alanlar arasındaki erozyon farkları sayısal olarak karşılaştırılabilir hale getirilmiştir.

Son aşamada, sayısallaştırılmış P faktörü verisi raster formata dönüştürülmüş (Polygon to Raster), ardından RUSLE modelinin bütüncül yapısına entegre edilerek toplam yıllık toprak kaybının hesaplanmasında kullanılmak üzere veri setine dahil edilmiştir.

3.1.3. Çubuk Yöntemi Uygulama Aşamaları

Toprak erozyonunun doğrudan ve güncel ölçümüne olanak sağlayan çubuk yöntemi, saha temelli ve ampirik bir değerlendirme sunar. Bu yöntem ilk olarak Hadley ve Lusby (1967) tarafından geliştirilmiş olup, erozyonun hem aşındırıcı hem de biriktirici etkilerini doğrudan ölçme kapasitesi nedeniyle özellikle küçük havzalar ve lokal etki analizleri için önem arz etmektedir. Çalışma alanında bu yöntemin tercih edilmesinin temel nedeni, MPSIAC ve RUSLE gibi modellerin uzun dönemli ortalamalar üzerinden değerlendirme yaparken, çubuk yönteminin kısa vadeli ve fiili yüzey değişimlerini doğrudan ölçebilmesidir (Wischmeier ve Smith, 1978).

Yöntemin Seçilme Nedenleri:

- Güncel toprak kaybı ve birikim miktarlarını doğrudan ölçmektedir.
- Arazideki erozyon sürecini gerçek zamanlı ve dinamik olarak izleme olanağı sağlamaktadır.

- Eğim, arazi kullanımı, toprak türü ve yağış değişkenleri gibi çevresel faktörlerin erozyon üzerindeki etkilerini mikro ölçekte karşılaştırmalı olarak analiz etme şansı tanımaktadır.

Uygulama Prensipleri ve Saha Seçimi Kriterleri:

Çalışma sahasında erozyon çubuklarının dikileceği noktalar belirlenirken, Hadley ve Lusby'nin (1967) uygulama prensipleri temel alınmıştır. Bu çerçevede;

- Erozyonun aktif olduğu sahalar (hem aşındırma hem de biriktirme eğilimli alanlar) dikkate alınmıştır.
- Farklı eğim sınıfları: Eğim haritası temel alınarak, 0–1° (düzlük), 5–10° (az eğimli), 20–40° (dik yamaç) gibi grupların tümü temsilen seçilmiştir.
- Farklı arazi kullanım türleri: Arazi örtüsü ve kullanımı haritası incelenerek, orman, kuru tarım, mera ve çıplak yüzeyler gibi başlıca kullanım türleri temsili olarak dahil edilmiştir. Bu da arazi kullanım değişiminin erozyona etkisini doğrudan gözlemlemeye olanak sunmaktadır.
- Farklı toprak grupları: Özellikle kahverengi orman toprakları ve kireçsiz kahverengi orman toprakları üzerinde farklı süreçlerin izlenebilmesi amacıyla çeşitlilik sağlanmıştır. Bu iki toprak grubu havzanın büyük bir bölümünü kaplamaktadır (toplam 24.310 hektar).
- Farklı bakı yönleri: Kuzey-güney ve doğu-batı bakılı sahalar seçilerek güneşlenme ve buharlaşmanın erozyona etkisi analiz edilmiştir.
- Yükselti farklılığı: Sayısal yükselti modeli (DEM) kullanılarak deniz seviyesinden 237 metre ile 1340 metre arasında değişen farklı yükselti aralıkları temsilen dahil edilmiştir.

3.2. Zarar Görebilirlik Analizi

Zarar görebilirlik, doğal veya beşerî kökenli bir tehlikenin etkilerine maruz kalan varlıkların, bu etkilerden ne ölçüde etkileneceğini belirleyen kritik bir analiz unsurudur. Bu kavram, yalnızca maruz kalma durumunu değil, aynı zamanda bu maruziyetin yaratacağı fiziksel, ekonomik ve ekolojik sonuçları da kapsar (Birkmann, 2006; Cutter vd., 2003).

Bu çalışmada, erozyon tehlikesine maruz kalan unsurların zarar görebilirliğini değerlendirmek amacıyla iki temel öğe seçilmiştir: Ardıçtepe Barajı ve Ardıçtepe Baraj Havza'sı. Her iki unsur da hem ekonomik hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından stratejik önem taşımaktadır.

Barajın zarar görebilirlik analizi kapsamında, baraj gölüne taşınan sediment miktarı dikkate alınmıştır. Havzadan baraj gölüne ulaşan sediment yükü, barajın aktif ve ölü hacimlerinin dolmasına neden olarak, barajın hidrolik performansını, depolama kapasitesini ve hizmet ömrünü doğrudan tehdit etmektedir. Bu nedenle, analiz sürecinde hem yıllık sediment verimi (Qs) hem de batimetri ve hacim değişimi hesaplamaları ile barajın uzun vadeli işlevselliği değerlendirilmiştir. Zarar görebilirlik, bu kapsamda barajın fiziksel bütünlüğünden çok, işlevsel sürdürülebilirliği bağlamında ele alınmıştır.

Baraj havzası ise, toprak kaybının farklı kullanım biçimlerine sahip alanlar üzerindeki etkilerini bir bütün olarak yansıtan bir sistemdir. Erozyonun meydana getirdiği yüzeysel toprak kayıpları, yalnızca tarımsal üretim alanlarında değil, mera, orman ve doğal bitki örtüsüne sahip sahalarda da toprak verimliliğini azaltmakta; aynı zamanda taşınan sedimentin baraj rezervuarında birikmesiyle hidrolik sistemin etkinliğini ve baraj ömrünü olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle, zarar görebilirlik analizi kapsamında havza geneli, topoğrafya, arazi kullanımı, toprak özellikleri ve koruma uygulamaları gibi parametreler ışığında değerlendirilmiş; farklı arazi türlerinin erozyona duyarlılığı bütüncül bir yaklaşımla analiz edilmiştir. Böylece sadece üretim kapasitesi değil, doğal kaynakların sürdürülebilirliği açısından da riskli alanlar belirlenmiş ve öncelikli korunması gereken bölgeler haritalandırılmıştır.

Her iki unsurun zarar görebilirliğine dair uygulama detayları, ilgili alt başlıklarda açıklanmıştır.

3.2.1. Ardıçtepe Barajı'nın Zarar Görebilirliğinin Uygulama Aşamaları

Barajlara gelen sedimentin zamanla rezervuar hacmini doldurarak barajın işlevini azaltması, uzun vadede barajların ömrünü sınırlayan başlıca etkenlerden biridir. Bu nedenle, Ardıçtepe Barajı'nın erozyona bağlı olarak karşı karşıya kalabileceği sedimentasyon riskini değerlendirebilmek amacıyla baraj ömrünün hesaplanması için aşağıdaki yöntemsel yaklaşımlar benimsenmiştir:

3.2.1.1. Hacim Azalımı Temelli Yaklaşım

Baraj ömrü, aktif hacmin yıllık sediment birikimine oranlanmasıyla tahmin edilmekte olup, bu yöntem barajların sürdürülebilir işletimi açısından yaygın biçimde kullanılmaktadır (Morris ve Fan, 1998). Bu yöntemde, DSİ tarafından temin edilen başlangıç ve güncel aktif hacim verileri esas alınarak barajdaki kapasite kaybı doğrudan hesaplanmıştır.

$$\textbf{Baraj Ömrü } (yıl) = \frac{\textbf{Başlangıç Aktif Hacim } (m^3)}{\textbf{Yıllık Sediment Birikimi } (m^3/yıl)}$$

3.2.1.2. Sediment İletim Oranı (SİO) Yaklaşımı

Erozyonla taşınan toplam toprak miktarının ne kadarlık kısmının baraja ulaştığını ifade eden SİO katsayısı dikkate alınarak yapılan hesaplamadır. Bu doğrultuda, barajın ömrünün tahmininde toplam erozyonun Sediment İletim Oranı (SİO) ile çarpılması sonucu elde edilen yıllık sediment miktarı, aktif hacimle oranlanarak kullanılmaktadır (Walling, 1983; de Vente ve Poesen, 2005).

$$\textbf{Yıllık Sediment Miktarı} = \textbf{Toplam Erozyon } \left(\frac{ton}{yıl}\right) * \textbf{SIO}$$

$$\textbf{Baraj Ömrü } (yıl) = \frac{\textbf{Başlangıç Aktif Hacim}}{\textbf{Yıllık Sediment}}$$

Burada SİO katsayısı için literatürde genellikle 0.1 – 0.3 aralığında değerler önerilmekte olup (Walling, 1983; de Vente ve Poesen, 2005), bölgesel koşullar dikkate alınarak 0.2 değeri kullanılmıştır.

3.2.1.3. Havza Bazlı Erozyon Tahmin Modelleri (RUSLE ve MPSIAC)

Barajların ekonomik ve fiziksel ömürleri, bulundukları havzada gelişen erozyon süreçleri ve bunun sonucu oluşan sediment taşınımı ile doğrudan ilişkilidir. Bu çalışmada, sediment verimi hesaplamalarında hem RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) hem de MPSIAC (Modified Pacific South-west Inter Agency Committee) modelleri kullanılmıştır. Her iki modelin entegre edilmesi hem yıllık

ortalama toprak kayıplarının hem de barajın uzun vadeli sediment yükünün hesaplanabilmesini mümkün kılmıştır. Bu hesaplamalarda RUSLE eşitliği:

$$\boldsymbol{A = R * K * LS * C * P}$$

şeklinde tanımlanır ve hektar bazında sediment kaybını vermektedir. Elde edilen yıllık toplam toprak kaybı, SİO katsayısıyla çarpılarak baraja ulaşan sediment miktarı bulunmaktadır (Williams, 1977; Renard vd., 1997).

MPSIAC modeli ise, dokuz farklı etki faktörünü içeren ampirik bir yöntemdir. Bu modelde her bir faktör için puanlama sistemine dayalı hesaplamalar yapılmakta olsa da bu çalışmada puanlamaya dayalı sediment verimi yerine doğrudan faktörlere ait kantitatif değerlerle hesaplanabilen alternatif formülasyon tercih edilmiştir. Bu yaklaşıma göre sediment verimi şu şekilde hesaplanmıştır:

$$\boldsymbol{Qs\ (Sediment\ verimi; t/ha/y) = 0,253e^{0,036R}}$$

e: Doğal logaritmanın tabanı olan Euler sabiti'dir. Yaklaşık değeri: 2,718

R: MPSIAC faktörlerinden türetilmiş toplam etki değeridir. Yapı, R değeri arttıkça sediment veriminin artacağını göstermektedir.

Bu formül, Walling (1983) ile de Vente ve Poesen (2005) gibi öncü çalışmaların teorik yaklaşımları temel alınarak, PSIAC (1968) modelinin geliştirilmiş versiyonu olan MPSIAC yöntemine paralel biçimde sediment üretim potansiyelinin belirlenmesinde kullanılmıştır.

3.2.2. Ardıçtepe Baraj Havzası'nın Zarar Görebilirliğinin Uygulama Aşamaları

Zarar görebilirlik analizi, bir alanın çevresel tehditlere karşı ne ölçüde hassas ve kırılgan olduğunu belirlemek amacıyla gerçekleştirilen önemli bir aşamadır. Bu çalışmada Ardıçtepe Barajı Havzası'nın erozyon kaynaklı zarar görebilirliği, UNDRR (2020) ve IPCC (2014) tarafından çevresel tehlike analizlerinde yaygın olarak kullanılan "Z = f (E, S, AC)" genel formülü temel alınarak uyarlanmıştır. Bu genel formül, maruziyet (Exposure), hassasiyet (Sensitivity) ve uyum kapasitesi (Adaptive Capacity) bileşenlerine dayanır. Bu kapsamda Morgan (2005), Wischmeier ve Smith (1978), FAO (2019), Panagos vd. (2015) ile de Vente ve Poesen (2005)'den

yararlanılarak eğim, toprak erodibilitesi, arazi kullanımı ve koruma önlemleri katmanları bütünleştirilmiştir:

$$\boldsymbol{Z = D \times S \times LU \times C}$$

Bu formülde:

- **D (eğim)**: Topografik duyarlılığı temsil eder. Eğim arttıkça erozyon riski ve dolayısıyla zarar görebilirlik de artar (Morgan, 2005).
- **S (toprak erozyonuna hassasiyet)**: Toprağın tipi, yapısı, dokusu ve organik madde içeriği gibi faktörler dikkate alınarak belirlenmiştir (Wischmeier ve Smith, 1978).
- **LU (arazi kullanımı)**: Tarım, orman, mera gibi farklı arazi kullanım türlerinin erozyona maruz kalma oranı ile doğrudan ilişkilidir. Özellikle bitki örtüsü yoğunluğu bu katsayıyı etkilemektedir (FAO, 2019).
- **C (koruma önlemleri)**: Teraslama, örtü bitkisi, tarla kenarı ağaçlandırması gibi uygulamalarla yapılan erozyon kontrolü düzeyini temsil eder. Bu katsayı ne kadar büyükse, sistemin korunma kapasitesi o kadar yüksek demektir (Panagos vd., 2014).

Bu formülün avantajı, farklı alansal katmanlar üzerinden raster hesaplama ile kolayca uygulanabilir olmasıdır. Aynı zamanda hem fiziksel çevre (eğim, toprak) hem de insan kaynaklı baskılar (arazi kullanımı, koruma düzeyi) birlikte değerlendirilir. Bu yönüyle entegratif ve pratik bir analiz çerçevesi sunar (de Vente ve Poesen, 2005; Brandolini vd., 2019).

Ardıçtepe Barajı Havzası özelinde, dört raster katmanı (eğim, toprak, arazi kullanımı ve koruma önlemleri) hazırlanmış, Map Algebra yöntemiyle formül uygulanarak havza genelini kapsayan bir zarar görebilirlik haritası oluşturulmuştur. Bu yöntem, yalnızca tarım alanlarını değil, aynı zamanda mera, orman ve yerleşim çevresi gibi farklı kullanımların da erozyon tehlikesi karşısındaki kırılganlık düzeylerini ortaya koyma açısından daha bütüncül bir bakış açısı sağlamıştır. Ayrıca bu yaklaşım, bir sonraki aşamada hesaplanacak erozyon risk analizinde hem tehlike hem zarar bileşenlerinin aynı alansal kapsamla ele alınmasını da mümkün kılmıştır.

3.3. Risk Analizi

Doğal kaynakların sürdürülebilir yönetiminde, yalnızca tehlikenin varlığını ya da zararın olasılığını bilmek yeterli değildir. Risk analizi, bu iki bileşenin etkileşimini dikkate alarak, hangi bölgelerin öncelikli müdahale alanı olduğunu belirlemeyi amaçlamaktadır. Özellikle erozyon gibi sürekli ve yaygın etkili bir süreçte, risk haritalarının hazırlanması, arazi planlaması ve koruma politikalarının şekillendirilmesinde kritik bir role sahiptir.

Bu çalışmada erozyon riski, MPSIAC ve RUSLE yöntemleriyle hesaplanan tehlike katsayıları ile, literatürde önerilen yöntem doğrultusunda zarar görebilirlik değerlerinin çarpılması yoluyla elde edilmiştir. Risk puanı şu formülle ifade edilmiştir:

$$\boldsymbol{Risk = Tehlike * Zarar\ G\ddot{o}rebilirlik}$$

Raster temelli verilerle yapılan bu çarpım işlemi, ArcGIS yazılımında Map Algebra aracı ile gerçekleştirilmiş ve sonuç olarak her bir hücreye karşılık gelen risk değeri alansal olarak modellenmiştir.

Risk analizinde bu tür çarpım modelleri, özellikle bütüncül havza yönetimi, erozyon tahmini ve doğal afet önceliklendirmesi çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Panagos vd., 2014; Ganasri ve Ramesh, 2016). Riskin mekânsal temsili, karar vericilere "nerede, ne kadar müdahale gerekli?" sorusuna yanıt verme açısından önemli bir analiz çıktısı sunar.

4. BULGULAR VE YORUMLAR

Ardıçtepe Barajı Havzası'na yönelik gerçekleştirilen erozyon risk analizinin üç temel bileşeni olan tehlike, zarar görebilirlik ve risk analizlerine ilişkin bulgulara yer verilmiştir. Çalışma kapsamında uygulanan farklı yöntemler aracılığıyla elde edilen veriler, mekânsal analiz teknikleri ile değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır.

Bulgular, önce havza genelindeki erozyon potansiyelinin belirlenmesini amaçlayan tehlike analizi ile başlamaktadır. Bu analizde MPSIAC, RUSLE ve Çubuk yöntemleri kullanılarak erozyonun olası yoğunluğu ve dağılımı ortaya konmuştur. Ardından, bu tehlikenin etkileyebileceği hassas alanların belirlenmesine yönelik zarar görebilirlik analizi gerçekleştirilmiş; özellikle baraj rezervuarı ve baraj havzasına odaklanılmıştır. Son olarak, her iki analiz sonuçları bir araya getirilerek risk analizi yapılmış ve erozyon açısından en öncelikli müdahale alanları tespit edilmiştir.

Bu bölümde sunulan bulgular, yalnızca mevcut durumu ortaya koymakla kalmayıp, aynı zamanda sürdürülebilir havza yönetimi, baraj ömrünü belirleme ve erozyonla mücadele stratejileri açısından da önemli ipuçları sunmaktadır.

4.1. Tehlike Analizi

Erozyon, doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımını tehdit eden en önemli çevresel sorunlardan biridir. Özellikle baraj havzalarında meydana gelen toprak kayıpları, yalnızca su kalitesini ve baraj ömrünü olumsuz etkilemekle kalmamakta, aynı zamanda tarımsal üretkenliği azaltarak ekonomik ve ekolojik dengeyi de sarsmaktadır. Bu bağlamda, erozyon tehlikesinin nicel ve nitel açıdan belirlenmesi, havza yönetim planlarının oluşturulmasında temel bir gereklilik haline gelmiştir. Tehlike analizi, erozyonun potansiyel olarak nerede, ne düzeyde ve hangi etmenler sonucunda meydana gelebileceğini ortaya koyan bir değerlendirme sürecidir.

Bu çalışmada, Ardıçtepe Barajı Havzası'nda erozyon tehlikesinin bilimsel temellere dayalı olarak değerlendirilmesi amacıyla üç farklı yöntem uygulanmıştır: MPSIAC (Modified Pacific Southwest Inter-Agency Committee), RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) ve Çubuk Yöntemi. Her bir yöntem, farklı veri kaynakları ve parametreler üzerinden toprak kaybını değerlendirme yeteneğine sahiptir. Böylece hem çok boyutlu hem de karşılaştırmalı bir tehlike haritalaması yapılması mümkün hale gelmiştir. Bu yaklaşım, yöntemler arası benzerlikleri ve farklılıkları analiz etmeye olanak tanıdığı gibi, aynı zamanda model duyarlılığına yönelik önemli ipuçları da sunmaktadır.

Tehlike analizi, yalnızca mevcut erozyon riskini tespit etmekle kalmaz; aynı zamanda toprak kaybını etkileyen eğim, yağış, toprak özellikleri ve arazi kullanımı gibi temel faktörlerin mekânsal dağılımını da ortaya koyar. Bu yönüyle, risk yönetim stratejilerinin belirlenmesi için sağlam bir zemin oluşturur. Ardıçtepe Barajı Havzası'nda yapılan bu analiz, bölgeye özgü morfolojik ve klimatolojik koşulları dikkate alarak, sürdürülebilir havza yönetimi için öncelikli alanların tanımlanmasına katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Tehlike analizinin bir diğer önemli yönü, mevcut doğal süreçlerin dinamik yapısını anlayarak geleceğe yönelik senaryolar üretme imkânı sunmasıdır. Özellikle insan faaliyetleriyle değişime uğrayan arazi örtüsü, eğim sınıfları ve toprak yapısı gibi faktörler, erozyon riskinin zamansal ve mekânsal dağılımında kritik rol oynamaktadır. Bu nedenle, tehlike analizinde kullanılan modellerin hassasiyeti ve veri kalitesi, analiz sonuçlarının güvenilirliğini doğrudan etkilemektedir. Bu çalışmada kullanılan MPSIAC, RUSLE ve Çubuk yöntemlerinin her biri, farklı veri grupları ile çalışmakta ve farklı ağırlıklarda parametreleri değerlendirmektedir. Bu çeşitlilik, yöntemler arası karşılaştırmalar yapılarak analiz sonuçlarının daha geniş bir perspektiften değerlendirilmesine olanak tanımaktadır.

MPSIAC yöntemi, özellikle Batı Amerika koşulları için geliştirilmiş olmakla birlikte, çok sayıda faktörü bir arada değerlendirmesi nedeniyle yarı kurak ve kurak bölgelerdeki erozyon tehlikesinin belirlenmesinde etkili bir modeldir. RUSLE yöntemi ise, matematiksel olarak daha sade bir yapı sunmakta ve özellikle yıllık toprak kaybının hesaplanmasında geniş kabul görmektedir. Günümüzde yapılan mikromorfolojik erozyon çalışmalarına yöntemsel açıdan örnek teşkil eden Çubuk yöntemi ise havzalardaki güncel erozyonun ölçülmesi bakımından önem taşımaktadır.

Bu yöntemlerin birlikte kullanılması, yalnızca bilimsel sağlamlığı artırmakla kalmamakta, aynı zamanda bölgesel uygulamalara yönelik öneriler geliştirilmesini de mümkün kılmaktadır.

Sonuç olarak, tehlike analizi, erozyonla mücadele stratejilerinin bilimsel bir temele oturtulması açısından vazgeçilmez bir aşamadır. Ardıçtepe Barajı Havzası örneğinde olduğu gibi, farklı model ve verilerin bir arada kullanılmasıyla oluşturulan bu bütüncül yaklaşım, hem arazi yönetiminde öncelikli alanların belirlenmesini hem de karar vericilere yönelik somut politika önerilerinin geliştirilmesini mümkün kılacaktır. Bu bağlamda, çalışmanın bu bölümü, risk analizinin temel bileşenlerinden biri olarak değerlendirilmekte ve sonraki aşamalar olan zarar görebilirlik ve birleşik risk analizine zemin hazırlamaktadır.

4.1.1. MPSIAC Tehlike Analizi

MPSIAC (Modified Pacific Southwest Inter-Agency Committee) yöntemi, ilk olarak Amerika Birleşik Devletleri'nin batı bölgelerinde erozyon potansiyelinin belirlenmesi amacıyla geliştirilmiş ve daha sonra farklı coğrafyalarda da uygulanabilirliği test edilmiş ampirik bir modeldir. Bu yöntem, yüzeysel erozyonun mekânsal dağılımını belirlemek amacıyla dokuz temel parametre üzerinden nitel ve nicel bir değerlendirme yapmaktadır. Bu parametreler; arazi kullanım durumu, toprak erozyon potansiyeli, topoğrafik özellikler, yağış karakteristiği, yüzey akışı, oyuntu erozyon durumu, bitki örtüsü, drenaj özellikleri ve arazi yüzey kapalılık gibi değişkenleri kapsamaktadır (PSIAC, 1968).

MPSIAC yöntemi hem nitel gözlemler hem de sayısal verilerle çalışmaya uygun yapısı sayesinde, farklı çevresel koşullarda da esnek biçimde uygulanabilmektedir. Bu yönüyle, özellikle karmaşık topografyaya ve farklı arazi kullanım biçimlerine sahip havzalarda erozyon tehlikesinin belirlenmesi açısından kapsamlı bir değerlendirme sunmaktadır.

Bu çalışmada MPSIAC yöntemi, Ardıçtepe Barajı Havzası'nda erozyon tehlikesinin nicel olarak değerlendirilmesi amacıyla uygulanmıştır. Dokuz temel faktöre ilişkin veriler toplanmış, her bir parametre için havza genelindeki dağılım analiz edilmiş ve sonuçta elde edilen toplam puanlar üzerinden erozyon tehlike

dereceleri belirlenmiştir. Aşağıda her bir faktör ayrı ayrı açıklanarak, bu değerlendirme süreci detaylandırılmıştır.

4.1.1.1. Anakaya (X_1) Faktörü

Erozyonun oluşum sürecinde anakaya tipi, doğrudan belirleyici etmenlerden biri olarak kabul edilmektedir. Anakayanın mineralojik bileşimi, sertlik derecesi, ayrışma özellikleri ve fiziksel bütünlüğü, toprak oluşumunu ve sediment üretim potansiyelini büyük ölçüde etkilemektedir. Kolay ayrışabilen, çatlaklı ve gevşek dokulu kayaçlar, yağış ve yüzey akışı etkisiyle daha kısa sürede parçalanarak yüzey materyali haline gelirken; dirençli ve sert kayaçlar daha düşük erozyon riski göstermektedir. Bu nedenle anakaya faktörü, MPSIAC yönteminde önemli bir parametre olarak değerlendirilmekte ve her bir litolojik birim, erozyona duyarlılığına göre puanlandırılmaktadır.

Ardıçtepe Barajı Havzası, litolojik çeşitlilik açısından oldukça zengin bir yapıya sahiptir (Tablo 6). Havzanın kuzey ve orta kesimlerinde yaygın olarak gözlenen Miyosen yaşlı andezit–tüf, kumtaşı–çamurtaşı–kireçtaşı ve Oligosen–Miyosen granodiyorit birimleri, erozyona karşı orta düzeyde dirençli kayaçlardan oluşmaktadır. Buna karşılık, güney kesimde yer alan ve özellikle Permiyen–Triyas yaşlı çakıltaşı, kumtaşı ve metamorfit birimler, daha fazla ayrışma eğiliminde olan kayaçlar olarak erozyon açısından daha yüksek risk oluşturmaktadır. Ayrıca, Alt Triyas yaşlı mermer ve Permiyen kireçtaşı birimleri yer yer yüksek eğimlerle birleşerek erozyon açısından kritik alanlar yaratmaktadır.

Bu çeşitlilik, havza genelinde anakaya faktörünün etkisini artırmakta ve erozyon potansiyelinin alanlar arasında farklılık göstermesine neden olmaktadır. Bu çalışma kapsamında, her bir litolojik birim erozyon duyarlılığına göre sınıflandırılmış ve MPSIAC yöntemine uygun olarak puanlandırılmıştır. Aşağıda, havzada tespit edilen anakaya türleri ve bu türlerin erozyon potansiyeline katkıları detaylı olarak sunulmuştur.

4.1.1.1.1. Havzadaki Litolojik Birimlerin Dağılımı ve Özellikleri

Ardıçtepe Barajı Havzası, sahip olduğu jeolojik yapı nedeniyle farklı direnç düzeylerine sahip çok sayıda litolojik birimi bünyesinde barındırmaktadır (Tablo 6, 7 ve Şekil 5). Bu durum, erozyon süreçlerinin havza genelinde homojen olmayan bir dağılım göstermesine neden olmaktadır. Havzada yer alan başlıca kayaç türleri Miyosen, Oligosen, Triyas ve Permiyen yaşlı birimlerden oluşmakta; bu birimlerin fiziksel ve mineralojik özellikleri, erozyon potansiyelinin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır.

Ardıçtepe Barajı Havzası'nın jeolojik yapısı ve litolojik birimlerinin dağılımı incelendiğinde (Şekil 5), erozyon açısından önemli risklerin mevcut olduğu görülmektedir. Havzada en geniş alanı kaplayan birim Miyosen yaşlı andezit-tüf formasyonudur. Bu birim yaklaşık 11.856,76 hektarlık alan ile havzanın %46,50'sini oluşturmaktadır. Volkanik kökenli olan bu birimler her ne kadar yüzeyde sert kayalar gibi görünse de özellikle ayrışmış alanlarda suyla temas ettiklerinde parçalanarak erozyona karşı duyarlı hale gelebilmektedir. Onu takiben en yaygın birim, Permiyen-Triyas yaşlı metakırıntılı kaya birimidir. Bu litolojik grup 5.408,45 hektarlık alan ile havzanın %21,21'ini kaplamakta olup, zayıf çimentolanmış yapısı nedeniyle kolayca ayrışabilmekte ve su ile taşınarak baraj gölüne sediman girişine neden olabilmektedir. Üçüncü büyük birim ise yine Permiyen-Triyas yaşlı çakıltaşı, kumtaşı ve çamurtaşından oluşan karmaşık bir formasyondur ve %14,91'lik alan kaplamaktadır. Bu birimlerin ortak özelliği suya karşı dirençlerinin düşük olmasıdır; dolayısıyla yüzey akışıyla taşınıma oldukça açıktırlar.

Tablo 6. Havzadaki Litolojik Birimler ve Potansiyel Erozyon Durumları

Litolojik Birimler	Yorum
Miyosen / Andezit-Tüf	Havzanın orta ve kuzey kesimlerinde yaygın olan bu volkanik kayaçlar, yer yer kompakt yapılı olsa da özellikle tüf içeriği nedeniyle ayrışmaya yatkındır. Gözenekli ve zayıf çimentolu yapısı, bu birimlerin orta düzeyde erozyon riski taşımasına neden olmaktadır.

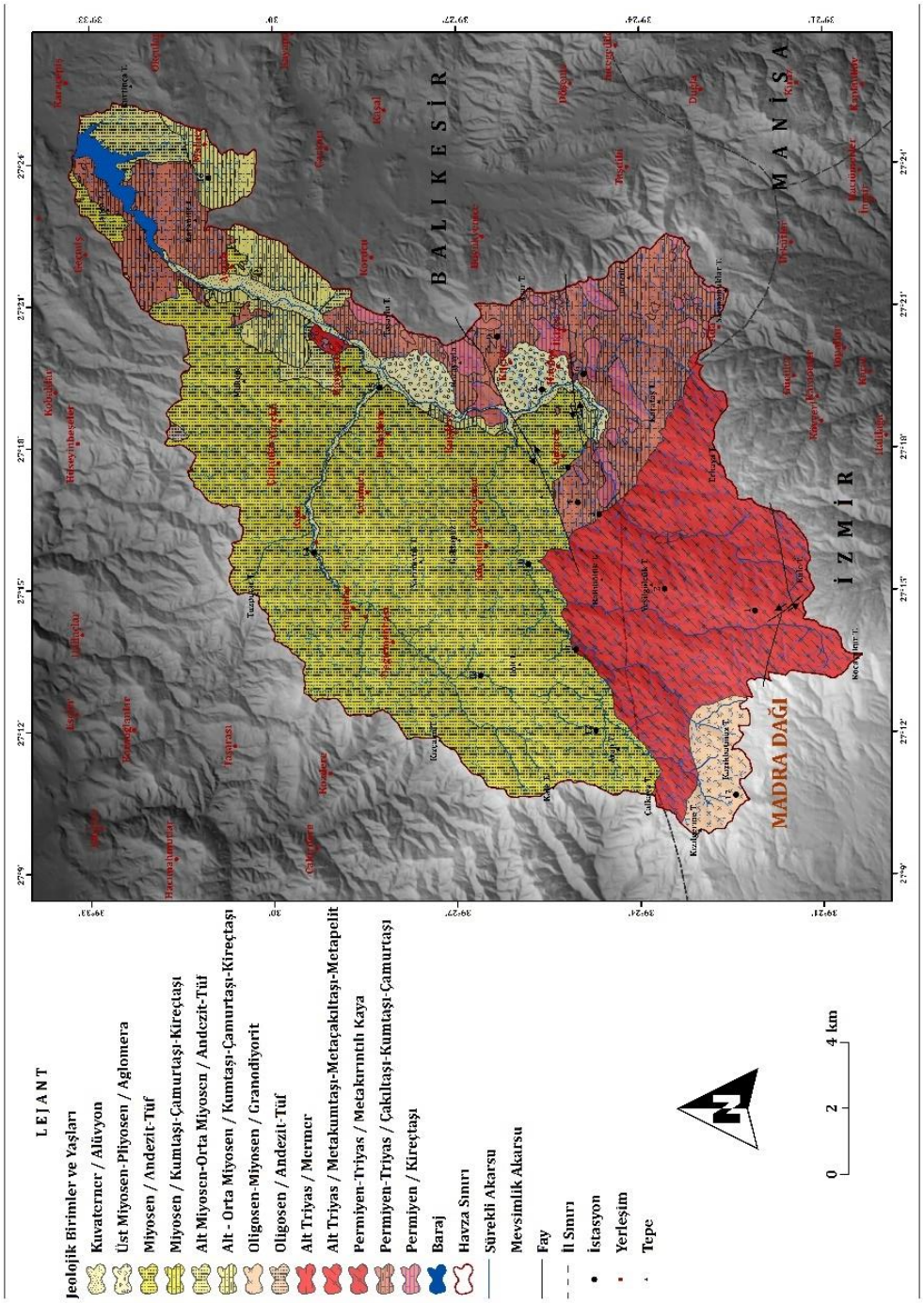
Tablo 6 - devamı

Miyosen / Kumtaşı-Çamurtaşı-Kireçtaşı ve Alt Miyosen-Orta Miyosen / Kumtaşı-Çamurtaşı-Kireçtaşı	Bu birimler, genellikle tabakalanmış ve gevşek yapılı kayaçlardan oluşur. Kumtaşı ve çamurtaşı, düşük kohezyona sahip olduklarından dolayı suyla kolayca ayrışabilir. Bu nedenle bu alanlar yüksek sediment üretim potansiyeline sahiptir.
Oligosen-Miyosen / Granodiyorit	Daha sert ve kristalin yapılı olan granodiyorit, mekanik ayrışmaya karşı nispeten dirençlidir. Ancak yüzeydeki ayrışma zonlarında erozyon gelişebilir. Bu nedenle erozyon duyarlılığı orta düzeyde kabul edilmiştir.
Oligosen / Andezit-Tüf	Bu volkanik kayaçlar, üstteki Miyosen tüflerinden daha yoğun çatlaklılık gösterebilir. Tüfitik dokulara sahip bölgelerde özellikle yağışlı dönemlerde ayrışma ve yüzey akışına bağlı parçalanma hızlanabilir.
Alt Triyas / Mermer	Kompakt, kristalin yapılı olan mermer, yüksek dayanıklılığı sayesinde erozyona karşı oldukça dirençlidir. Ancak yüksek eğimli bölgelerde fiziksel parçalanma gelişebilir.
Alt Triyas / Metakumtaşı-Metaçakıltaşı-Metapelit	Bu birimler, başkalaşım geçirerek özgün özelliklerini büyük ölçüde değiştirmiştir. Sertleşmiş yapıları nedeniyle düşük–orta düzeyde erozyon riski taşırlar.
Permiyen-Triyas / Metakarıntılı Kaya	Bu metamorfik birim, çatlaklık ve foliasyon düzlemleri nedeniyle ayrışma açısından hassas olabilir. Eğimli bölgelerde sediment üretimi yüksektir.
Permiyen-Triyas / Çakıltaşı-Kumtaşı-Çamurtaşı	Bu birimler, özellikle kumtaşı ve çamurtaşı bileşenleri nedeniyle oldukça parçalanabilir yapıdadır. Zayıf çimentolu olanlar yüksek erozyon riski taşımaktadır.
Permiyen / Kireçtaşı	Kalsit esaslı bu kayaç, kimyasal ayrışmaya karşı dirençli olsa da fiziksel çözülme eğilimindedir. Özellikle çatlaklı kireçtaşı sahalarında su akışıyla birlikte blok parçalanmaları görülebilir.

Kaynak: Orijinal

Havza içerisinde Kuvaterner dönemine ait alüvyon birimleri de 515,72 hektarlık bir alanla (%2,02) temsil edilmekte olup, gevşek yapıları ve ince taneli litolojileri dolayısıyla yüksek erozyon potansiyeline sahiptir. Bu alanlar genellikle tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu bölgelerde yer almakta ve toprak kaybı bu nedenle hem baraj ömrünü hem de arazi verimliliğini tehdit edebilmektedir. Ayrıca, haritada yer alan sürekli akarsu ağlarının özellikle orta ve doğu kesimlerde yoğunlaştığı görülmektedir. Bu akarsular, hem yüzey akışının hızını artırarak erozyonu tetiklemekte, hem de taşınan materyalin doğrudan baraj gölüne ulaşmasına aracılık etmektedir. Fay hatlarının bazı akarsu hatlarına paralel ya da yakın geçmesi, topografyada kırık zonlarının daha fazla ayrışmaya maruz kalmasına neden olmakta ve bu da erozyonun şiddetini artırmaktadır.

Güney kesimde yer alan metamorfik ve metasedimanter kayaçlardan oluşan Alt Triyas ve Permiyen-Triyas yaşlı birimler, hem topoğrafik olarak daha eğimli alanlarda bulunmaları hem de yapısal zayıflıkları nedeniyle erozyon açısından kritik alanlar arasında yer almaktadır. Özellikle metakumtaşı, metapelit ve mermer birimleri ile temsil edilen bu alanlar, yağışla birlikte yüksek miktarda materyalin çözülerek taşınmasına neden olabilir. Harita üzerinde baraj çevresinde yoğunlaşan tüf, çakıltaşı ve metakırıntılı kaya birimleri, erozyon sonucu taşınan materyalin doğrudan barajda birikmesine neden olabilecek önemli jeolojik yapılardır. Bu durum barajın aktif ömrünü kısaltabilecek bir sedimantasyon sorununa işaret etmektedir.



Şekil 5. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın Jeoloji Haritası

Kaynak: Orijinal

Tablo 7. Ardıçtepe Barajı Havzası Ana Kayaç Gruplarının Dağılımı

Yaş	Litolojik Birimler	Alan (ha)	Oran (%)
Kuvaterner	Alüvyon	515,72	2,02
Alt – Orta Miyosen	Kumtaşı Çamurtaşı Kireçtaşı	1134,47	4,45
Miyosen	Kumtaşı Çamurtaşı Kireçtaşı	0,84	0,00
Permiyen – Triyas	Çakıltaşı Kumtaşı Çamurtaşı	3800,62	14,91
Permiyen	Kireçtaşı	878,76	3,45
Üst Miyosen – Pliyosen	Aglomera	607,55	2,38
Alt – Orta Miyosen	Andezit – Tüf	574,28	2,25
Miyosen	Andezit – Tüf	11856,76	46,50
Oligosen	Andezit – Tüf	22,42	0,09
Oligosen – Miyosen	Granodiyorit	607,67	2,38
Alt Triyas	Metakumtaşı Metaçakıltaşı Metapelit	67,34	0,26
Alt Triyas	Mermer	23,47	0,09
Permiyen – Triyas	Metakırıntılı Kaya	5408,45	21,21

Kaynak: Orijinal

Sonuç olarak, Ardıçtepe Barajı Havzası, jeolojik çeşitliliği yüksek ve farklı dirençte litolojik birimlere sahip bir yapıda olup, bu durum erozyon açısından yer yer ciddi riskler oluşturmaktadır. Özellikle ayrışmaya ve taşınıma açık birimlerin geniş alanlarda yayılım göstermesi, sürekli akarsu ağları ile birleşerek barajda tortulanma riskini artırmaktadır. Bu nedenle, arazi kullanım planlamalarında ve havza yönetiminde erozyon kontrolü öncelikli bir strateji olmalıdır. Ayrıca, bu değerlendirme ileride yapılacak MPSIAC, RUSLE gibi nicel erozyon analizleri için de güçlü bir zemin sunmaktadır.

4.1.1.1.1.1. Permiyen Yaşlı Kireçtaşı Birimleri

Çalışma alanının jeolojik çerçevesinde, Karakaya Kompleksi önemli bir yer tutmakta olup, bu kompleks içerisinde özellikle Permiyen yaşlı kireçtaşı blokları yaygın olarak gözlemlenmektedir. Söz konusu kireçtaşları, başta Çal Formasyonu olmak üzere, Karakaya Kompleksi'ne ait birimler içinde olistostromal kanal dolguları şeklinde veya bağımsız bloklar hâlinde yer almakta; boyutları ise çakıl tanelerinden birkaç kilometreye ulaşan kütlelere kadar değişkenlik göstermektedir. Bu bloklar genellikle gri-bej renkli, orta ile kalın tabakalı yapıda olup; alg ve fusulin gibi fosil içeriklerinin yoğunluğu ile dikkat çeker. Litolojik olarak, istiftaşı özelliği gösteren bu kireçtaşları hem sedimantolojik hem de yapısal açıdan önemli birer birimdir (Akyürek, 1989).

Bu litofasiyeslerin erozyon süreçleri üzerindeki etkileri göz ardı edilemez. Özellikle alg ve fusulin içeriği bakımından zengin olan bu karbonatlı birimler, kimyasal ayrışmaya karşı nispeten dirençli olup, topoğrafyada yer yer çıkıntılı birimlerin oluşumuna neden olabilmektedir. Bununla birlikte, olistostromal yapılar içindeki blokların düzensiz dağılımı, yüzeysel akışın yönlenmesini ve mikro havza gelişimini etkileyerek mekansal olarak farklılaşan erozyon dinamiklerinin oluşmasına zemin hazırlamaktadır.

4.1.1.1.1.2. Üst Permiyen Yaşlı Kireçtaşı (Çamoba Formasyonu) Birlikleri

Çaldağ Kireçtaşı Üyesi, Permiyen yaşlı Çamoba Formasyonu'nun karakteristik bir birimi olup, bu formasyon içindeki stratigrafik konumu ve diğer üyelerle olan ilişkisi en belirgin biçimde Çamoba Köyü çevresinde izlenebilmektedir. Söz konusu bölgede, bu birim altta yer alan Hacıyusuf Kumtaşı Üyesi ile geçişli bir ilişki sunarken, üzerine ise sınırlı bir alanda Şekerağa Silttaşı Üyesi gelir. Yanal yönde ise Kırtaş Kireçtaşı Üyesi ile birlikte tortullandığı görülmektedir. Litolojik olarak gri renkli ve yer yer kristalize özellikler sergileyen bu kireçtaşları, özellikle Alt Triyas yaşlı Halilağa Grubu içerisinde değişen boyutlarda bloklar halinde yaygınlık göstermektedir. Bu durum, birimin hem stratigrafik yayılımı hem de tortul rejimi açısından önemli bir ipucu sunmaktadır. Paleontolojik açıdan oldukça zengin olan Çaldağ Kireçtaşı Üyesi, içeriğinde Dunbarula tumida Skinner, Verbeekina verbeeki Geintz, Neoschwagerina craticulifera Schwager, Staffella sp., Nankinella sp.,

Chusenella sp., Reichelina sp., Neoendothyra sp., Globivalvulina graeca, ve Hemigordiopsis renzi Reichel gibi foraminifer türlerine ev sahipliği yapmaktadır. Bu zengin bentik foraminifer faunası, birimin Üst Permiyen yaşta olduğunu açıkça ortaya koymaktadır (Akyürek, 1989).

Çaldağ Kireçtaşı Üyesi, Permiyen yaşlı Çamoba Formasyonu'nun karakteristik ve yaygın litolojik bileşenlerinden biri olup, özellikle kristalize kireçtaşı yapısı ile dikkat çekmektedir. Bu tür karbonat kayaçlar, kimyasal erozyon (karstlaşma) açısından oldukça duyarlıdır. Gri renkli ve yer yer kristalize olan kireçtaşları, yüzey sularıyla veya atmosferik karbondioksit ile temas ettiğinde kolaylıkla çözünerek karstik boşluklar, çatlak sistemleri ve erozyon çukurları oluşturabilir. Bu süreç, özellikle yüzeydeki toprağın zayıflamasına ve ince taneli sedimentin taşınmasına neden olur.

Birimin Alt Triyas yaşlı Halilağa Grubu içinde bloklar halinde yayılım göstermesi, yer yer tektonik kırıklar boyunca ayrılmış ve dış etkenlere açık konumda olduğunu düşündürmektedir. Bu da fiziksel ayrışmayı kolaylaştırarak erozyon sürecini hızlandırabilir. Ayrıca, foraminifer yönünden zengin ve mikrofosil içeriği yoğun olan kireçtaşları genellikle mikritik matris içerdiğinden, yoğun yağış ve eğimli alan koşullarında yüzey akışı ile birlikte fiziksel ayrışmaya da açık hale gelebilir.

Sonuç olarak, Çaldağ Kireçtaşı Üyesi, litolojik özellikleri ve tektonik yerleşimi itibarıyla karstik erozyona yatkın, belirli alanlarda ise fiziksel ve kimyasal ayrışmanın birlikte etkili olabileceği birimlerden biridir. Bu nedenle, bu kireçtaşının yüzeyde yaygın olduğu sahalarda arazi kullanımında dikkatli olunmalı ve özellikle su sızmaları, yüzeysel akış ve topoğrafik eğim gibi faktörler erozyon riskini artıran unsurlar olarak değerlendirilmelidir.

4.1.1.1.1.3. Alt Triyas Yaşlı Metavolkanitler (Kınık Formasyonu)

Kınık Formasyonu, kuzeydoğu-güneybatı doğrultusunda uzanım gösteren, karmaşık yapılı bir birimdir. Litolojik bileşimi oldukça çeşitlidir ve formasyon, kısmen ilksel dokusunu koruyan metakonglomera, metakumtaşı, metaçamurtaşı, kumlu kireçtaşı ve kumtaşı gibi çökellerin yanı sıra volkarenit, aglomera ve metavolkanik kayaçları da içermektedir. Renk spektrumu genellikle sarı, boz, kahverengi ve gri tonlarında olup, birim ince-orta tabakalanmalı ve yapısal olarak kıvrımlıdır. Bu özellikler, sedimanter ortamın dinamik yapısını ve sonrasında maruz kaldığı tektonik

süreçleri yansıtmaktadır. Formasyon içerisinde, Permiyen yaşlı Hacıyusuf Kumtaşı Üyesi ve Çaldağ Kireçtaşı Üyesi farklı boyutlarda bloklar halinde bulunmakta, bu da sedimanter ortamın tekrarlayan sedimantasyon döngülerini yansıtmaktadır. Stratigrafik olarak altta Çavdartepe Formasyonu ile geçişli ilişkili olan Kınık Formasyonu, üstte Anisiyen yaşlı Kapıkaya Formasyonu tarafından taban konglomerası ile örtülmektedir. Fosil bulguları açısından oldukça fakir olan bu birimde yalnızca kumlu kireçtaşı seviyelerinde Meandrospira cf. pusilla (Ho) fosiline rastlanmıştır. Bu fosil bulgusu, formasyonun yaşının Alt Triyas olarak belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Yapısal ve litolojik benzerlikleri dolayısıyla, Kınık Formasyonu'nun Karakaya ve Elmadağ formasyonları ile eşdeğer kabul edilmesi mümkündür (Akyürek, 1989).

Kınık Formasyonu, içerdiği litolojilerin çeşitliliği nedeniyle erozyon açısından heterojen bir yapı sunmaktadır. Özellikle metakumtaşı, metakonglomera ve metaçamurtaşı gibi orta-yumuşak sertlikteki metamorfik kayaçlar, yüzeysel akışa karşı dirençsiz olup ayrışmaya ve taşınıma açıktır. Ayrıca kayaçların iç yapısında yer alan biyotit, klorit ve muskovit gibi fillosilikat mineraller, şişme ve ayrışma özellikleri nedeniyle suya karşı duyarlıdır ve bu da fiziksel erozyonun etkisini artırır. Formasyonun üst kısımlarında bulunan kumlu kireçtaşları ise karbonat çözünmesiyle şekillenen ve yer yer karstlaşmaya açık bir yapı sunarak erozyon türlerini çeşitlendirmektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, Kınık Formasyonu içinde yer alan farklı litolojik bileşenler, hem yüzeysel akışa bağlı doğrusal erozyon hem de kitle hareketleri (özellikle ayrışmış konglomera sahalarında) açısından potansiyel tehlike taşımaktadır. Bu nedenle bu formasyonun yüzeyde yayılım gösterdiği alanlarda arazi kullanımı planlanırken, jeolojik yapı ve litolojik dayanım mutlaka göz önünde bulundurulmalı, eğimli sahalarda toprak koruma önlemleri alınmalıdır.

4.1.1.1.1.4. Alt Triyas Yaşlı Metamorfik Şistler (Çavdartepe Formasyonu)

Çavdartepe Formasyonu, çalışma alanının kuzey kesiminde yayılım gösteren, pelitik ve psammitik kökenli bir metamorfik birimdir. Bu formasyon, bölgesel metamorfizma etkisi altında kalarak yeşil şist fasiyesi koşullarında metamorfik dönüşüme uğramıştır. Litolojik olarak birim; muskovit-kuvars şist, klorit-kuvars şist,

serisit-klorit şist, biyotitli kuvarsit, kuvars-albit-biyotit şist ve kuvars-epidot-klorit şist gibi çeşitli mineral bileşimlerine sahip kayaçlardan oluşmaktadır. Bu kayaçlar, köken aldıkları sedimanter birimlerin farklı mineralojik yapılarla dönüşüme uğradığını göstermektedir. Formasyonun, Kozak granodiyoriti ile olan dokanak zonlarında ve bu zonlara yakın kesimlerden alınan örneklerde albit-amfibol şist, biyotit-albit-epidot fels, serisit-klorit fels, hornfels ve granatit gibi kontakt metamorfizma ürünlerine rastlanmıştır (Akyürek, 1989). Bu durum, granodiyorit sokulumunun çevre kayaçlar üzerinde termal etki yarattığını ve lokal düzeyde farklı metamorfik minerallerin oluşumuna yol açtığını ortaya koymaktadır.

Stratigrafik açıdan değerlendirildiğinde, Çavdartepe Formasyonu'nun tabanı çalışma alanında gözlenememiştir. Üzerine gelen ve geçişli bir ilişki sergileyen Kınık Formasyonu ile olan kontağı, özellikle Ada Mahallesi ve Halilağa Köyü'nün kuzeyinde izlenebilmektedir. Çavdartepe Formasyonu fosil içeriği bakımından tamamen sterildir; buna karşın üzerinde yer alan Kınık Formasyonu'nda Alt Triyas yaşlı fosillerin tespit edilmesi, Çavdartepe Formasyonu'nun yaşını da dolaylı olarak sınırlandırmaktadır. Bu veriler ışığında, birimin Alt Triyas'a veya daha yaşlı bir döneme ait olduğu değerlendirilmektedir (Akyürek, 1989).

Çavdartepe Formasyonu, içerdiği şist, kuvarsit ve felsit gibi metamorfik kayaçlar nedeniyle genellikle orta-yüksek dayanımlı bir yapıya sahiptir. Ancak şistlerin belirgin yapraklanma düzlemleri, kayaçların zayıf zonlar boyunca ayrışmaya ve fiziksel çözülmeye açık hale gelmesine neden olabilir. Özellikle yeşil şist fasiyesi koşullarında oluşmuş mineraller (klorit, muskovit, serisit gibi) yapraklı ve kırılgan yapılarıyla, eğimli arazilerde su etkisiyle kolayca çözülerek yüzeyden taşınabilir. Bu özellikler, formasyonun erozyon açısından lokal düzeyde risk oluşturabileceğini göstermektedir. Diğer yandan kuvarsit gibi dayanıklı kayaçlar, erozyona karşı direnç sağlar; bu da formasyon içinde erozyon hassasiyetinin heterojen dağıldığı anlamına gelir. Ayrıca, granodiyorit sokulumlarının çevresindeki kontakt metamorfik alanlarda görülen termal etkili kayaçlar, erozyona daha dayanıklı yapılar sergilemektedir. Ancak bu kayaçlar fiziksel olarak ayrıştığında, özellikle şistli alanlarla sınır oluşturdukları geçiş zonlarında, toprak örtüsü oluşumu zayıf olduğundan yüzey akışına açık alanlar oluşabilir. Sonuç olarak, Çavdartepe Formasyonu, litolojik çeşitliliği nedeniyle karmaşık bir erozyon dinamiğine sahiptir ve arazi kullanımında bu farklılıklar dikkate alınarak değerlendirme yapılması gerekmektedir.

4.1.1.1.1.5. Alt Triyas Yaşlı Metakırıntılı Kaya (Kocaçukur Üyesi)

Çalışma alanında, Çavdartepe Formasyonu'nun güneybatı kesimlerinde, formasyon bünyesinde ayrı bir üye olarak tanımlanabilen spilitik birim, litolojik ve mineralojik özellikleriyle dikkate değer nitelikler taşımaktadır. Bu üye; metaspilit, metadiyabaz, albit diyabaz ve bunların tüf türevlerinden oluşmaktadır. Kayaçlar koyu yeşilden neftiye kadar değişen renk tonları sergilemekte olup, mineral içeriği ve dokusal özellikleri açısından oldukça karakteristiktir. Spilitlerde yaygın olarak gözlenen gaz boşlukları, genellikle klorit, kuvars, prehnit ve daha az oranda pumpelliyit mineralleriyle doldurulmuştur. Bu boşluk dolgularının çoğunda belirgin bir yönlenme (foliasyon) yapısı izlenmektedir ki bu durum, deformasyon ve metamorfik süreçlerin etkili olduğunu göstermektedir. Doku özellikleri açısından, söz konusu kayaçlarda hyalopilitik doku yaygın olup, bu durum lavların hızlı soğuması sonucu gelişen camsı matrisin kristallerle birlikte korunmuş olduğunu işaret eder. Petrografik olarak değerlendirildiğinde, bu birimlerin başlıca bileşenleri; plajiyoklas, ojit, titanojit mikrokristalleri, ayrıca lökoksen ve opak mineraller şeklindedir. Bu mineral birleşimi, spilitik birimlerin hem volkanik kökenli olduğunu hem de düşük dereceli metamorfik alterasyona uğradığını ortaya koymaktadır (Akyürek, 1989).

Çavdartepe Formasyonu bünyesinde yer alan spilitik üye, içerdiği metaspilit, metadiyabaz, albit diyabaz ve tüf türevleriyle birlikte volkanik ve düşük dereceli metamorfik karakter gösteren birimlerden biridir. Bu kayaçlar genel olarak yoğun ve dayanıklı volkanik kökenli litolojiler olarak bilinir; ancak sahada gözlemlenen gaz boşlukları (veziküller) ve bu boşlukların klorit, prehnit ve kuvars gibi minerallerle dolmuş olması, kayaçlarda önemli ölçüde porozite bulunduğunu ve bu nedenle fiziksel ayrışma süreçlerine açık olduklarını göstermektedir.

Boşlukların yönlü dizilim göstermesi, kayaç içerisinde belirgin bir foliasyon geliştiğini ortaya koymakta; bu durum saha ölçeğinde çatlak sistemlerinin erozyon etkenleriyle daha kolay etkileşime girmesine neden olmaktadır. Özellikle yağışlı dönemlerde bu çatlak sistemleri boyunca suyun ilerlemesi, kayaçların fiziksel ayrışmasını ve mineral yapısının çözülmesini kolaylaştırır.

Birimde yaygın olan hyalopilitik doku, yani camsı matrisli mikrokristalli yapı, volkanik lavların hızlı soğumasıyla oluşur ve bu dokular zamanla devitrifikasyona uğrayarak kırılgan hale gelir. Bu da birimin mikro çatlaklarla zayıflamasına,

dolayısıyla erozyon etkilerine daha duyarlı hale gelmesine neden olur. Ayrıca camsı bileşenler zamanla alterasyona uğrayarak ikincil mineraller (örn. kil mineralleri) oluşturur; bu da birimin kohezyonunu azaltarak yüzey akışına karşı direncini düşürür.

Sonuç olarak, spilitik üye litolojik olarak başlangıçta dayanıklı görünse de; gaz boşlukları, camsı yapı, düşük dereceli metamorfik alterasyon ve foliasyon gibi mikro yapılar, bu birimi özellikle mekanik ve kimyasal erozyon süreçlerine karşı orta düzeyde duyarlı hale getirmektedir. Bu nedenle, söz konusu birimin yüzeyde yayılım gösterdiği alanlarda bitki örtüsü kaybı, eğim artışı veya yüzey suyu akışı gibi etkenler, erozyon riskini belirgin şekilde artırabilir. Erozyon kontrolü açısından bu alanlarda drenaj düzenlemeleri, yüzey örtüleme ve yamaç stabilizasyonu gibi önlemlerin dikkate alınması önerilir.

4.1.1.1.1.6. Triyas Yaşlı Metavolkanitler (Karakaya Formasyonu)

Karakaya Formasyonu, Karakaya Kompleksi bünyesinde yer alan detritik ve volkano-sedimanter kayaçlar ile bu komplekse ait diğer birimlerin ayrıntılı olarak ayırtlanamamış bölümlerini kapsamaktadır. Litolojik açıdan oldukça heterojen bir yapı sergileyen formasyon; boz, alacalı kahverengi renkte kumtaşı, metakumtaşı, şeyl, çamurtaşı, radyolarit, metakonglomera, bazik volkanitler ve değişik boyutlardaki kireçtaşlarından oluşmaktadır (Şekil 6 ve 7). Birim, belirgin bir stratigrafik istif sunmamakla birlikte, içindeki litolojiler hem düşey hem de yanal yönde geçişli olup, yer yer blok konumunda da gözlenmektedir. Formasyon içerisinde dikkat çeken unsurlardan biri, Karbonifer ve Permiyen yaşlı büyük boyutlu kireçtaşı olistolit ve olistostrom bloklarının yaygınlığıdır. Bu blokların varlığı, birimin oluşumu sırasında aktif tektonik süreçlerin etkili olduğunu ve çökelme ortamının düzensiz sedimanter bir karakter taşıdığını göstermektedir. Ayrıca, birim içerisinde sedimanter akma ve kayma yapıları, tektonik deformasyona bağlı gelişmiş bloklaşmalar ile birlikte gözlemlenmektedir. Bu durum, birimin tektonik olarak oldukça aktif bir ortamda oluştuğunu ortaya koymaktadır. Deformasyon etkisi birim içerisinde heterojen dağılmıştır; bazı kesimlerde sedimanter özellikler iyi korunmuşken, özellikle ana tektonik hatlara yakın bölgelerde düşük dereceli metamorfizma etkileri saptanmıştır. İlk çökelme dokusunun korunduğu alanlarda, formasyonun karakteristik litolojisi kumtaşı–şeyl ardalanması ile temsil edilmektedir. Bu ardalanmada kumtaşı ve şeyl

oranlarının lokal ölçekte değişkenlik gösterdiği belirtilmektedir. Bazı lokasyonlarda kumtaşı daha baskınken,



Şekil 6. Fotoğrafta Görülen Alan, Kule Tepe'nin Kuzeybatısında Yer Alan Çavdarlık Tepe'deki Schmidt Sertlik Ölçümüne Göre 1. İstasyon Olup, Permiyen-Triyas Dönemine Ait Metakırıntılı Kayaçlar ve Üzerini Örten Kahverengi Orman Toprakları ile Temsil Edilmektedir.

Kaynak: Orijinal

diğerlerinde şeyl litolojisi hâkimdir. Kumtaşlarında taban yapıları, tane boyu derecelenmesi ve Bouma sekansları gibi türbiditik özellikler sıklıkla gözlenmiştir. Şeyl seviyeleri içinde yer yer grafitli şeyl, yeşil-kırmızı renkli silisli çamurtaşı ve radyolarit düzeyleri tanımlanmıştır. Formasyon, ayrıca bazik volkanik ve volkano-sedimanter kayaçlar bakımından da zengindir. Yeşil ve mor renkli piroklastik malzemeler (tüf,



Şekil 7. Fotoğrafta Yer Alan Saha, Yeşilgölcük Tepe'nin Güneyinde, Yaylamezarı–Gümeli Yol Ayrımında Bulunmakta Olup Permiyen-Triyas Dönemine Ait Metakırıntılı Kayaçlar ve Kireçsiz Kahverengi Orman Toprakları ile Temsil Edilmektedir.

Kaynak: Orijinal

tüfit, aglomera) ve epiklastikler, farklı düzeylerde yanal geçişli olarak formasyonun bileşenleri arasında yer almaktadır. Bu volkanitlerin yoğun olarak gözlendiği seviyeler Mehmetalan ve Çal Formasyonları olarak ayırtlanmıştır. Karakaya Formasyonu, Karakaya Kompleksi içerisinde yer alan bu diğer birimlerle bugünkü konumda tektonik dokanaklı ilişki göstermektedir. Bununla birlikte, bazı lokalitelerde ilksel dokanakların korunmuş olduğu da saptanmıştır. Bu tektonik sınırlar boyunca serpantinit blokları içeren Kretase yaşlı kayaçlar gözlenmiştir. Stratigrafik olarak

Karakaya Formasyonu, alt seviyelerde karasal–sığ denizel ortamları temsil eden arkozik kumtaşlarıyla geçişli olarak başlamakta, üst kesimlerde ise hızla derinleşen bir türbidit fasiyesi içerisinde gelişmiş yamaç-havza ortamı çökelleri ile devam etmektedir (Akyürek, 1989).

Karakaya Formasyonu, yüksek litolojik çeşitliliği ve tektonik olarak oldukça parçalanmış yapısı nedeniyle erozyon açısından karmaşık ve yer yer yüksek riskli birimler içermektedir. Kumtaşı–şeyl ardalanması gibi kolay ayrışabilen sedimanter yapılar, özellikle eğimli yamaçlarda yüzey erozyonuna ve lineer akışlara karşı duyarlıdır. Şeyllerin çatlaklı yapısı ve düşük kohezyon özellikleri, suyla temas halinde hızla ayrışmalarına ve taşınımlarına olanak tanır. Aynı zamanda, blok konumundaki olistolitler ve olistostromlar, yamaç stabilitesini bozarak kitle hareketlerine zemin hazırlayabilir. Piroklastik materyallerin bol olduğu seviyelerde ise, özellikle tüf ve tüfit gibi gözenekli yapıların suyu tutması ve ani su taşkınlarında çözülmesiyle sediman taşınımı hızlanabilir.

4.1.1.1.1.7. Eosen-Oligosen Yaşlı Granodiyorit (Kozak Granodiyoriti)

Kozak Granodiyoriti, petrografik açıdan genel olarak monzogranit, granodiyorit ve granodiyorit porfir bileşiminde tanımlanmaktadır. Kayaç içerisinde üç farklı yönde gelişmiş belirgin eklem sistemleri gözlenmekte olup, bu yapısal kırıklarla ilişkili olarak yaygın küresel ayrışmalar gelişmiştir. Söz konusu ayrışma yapıları, özellikle yüzeyde kaya bloklarının parçalanmasına ve ayrışma zonlarının oluşmasına zemin hazırlamaktadır. Granodiyorit kütlesi, yapısal bütünlüğü içerisinde yoğun şekilde aplit damarları ile kesilmiştir. Bu damarlar, magmatik evrim sürecinin son evrelerinde kristalleşen silika açısından zengin eriyiklerin oluşturduğu damar yapılar olarak değerlendirilmektedir. Kozak Granodiyoriti, Alt Triyas yaşlı Halilağa Grubu'na ait Çavdartepe Formasyonu ve yine aynı yaşlı Kınık Formasyonu ile temas zonlarında gözlenmekte, bu birimleri kontakt metamorfizmaya uğratmaktadır. Özellikle dokanaklara yakın kesimlerde, granodiyorit kütlesi içerisinde Çavdartepe ve Kınık formasyonlarına ait anklavlar (yabancı kaya parçaları) yaygın olarak gözlenmektedir. Bu durum, granodiyoritin yerleşimi sırasında çevre kayaçların parçalanarak ergiyik içerisine dahil edildiğini ve magmatik aktivitenin çevresel litolojiyi etkilediğini göstermektedir. Stratigrafik olarak, Kozak Granodiyoriti Üst Miyosen–Pliyosen yaşlı

Ballıca Formasyonu ve Yuntdağ Volkanitleri tarafından uyumsuzlukla örtülmektedir. Bu jeolojik ilişkilere dayanarak, granodiyoritin yerleşme yaşı doğrudan fosil verileriyle belirlenememekle birlikte, Eosen–Oligosen aralığında olabileceği yönünde yorum yapılmaktadır (Akyürek, 1989). Bu zamanlama, bölgedeki diğer magmatik sokulumlarla karşılaştırıldığında tutarlıdır ve bölgesel tektonik-magmatizma ilişkisini desteklemektedir.

Kozak Granodiyoriti, mineralojik olarak kuvars, plajiyoklas, feldispat ve biyotit gibi silikat minerallerinden oluşan sağlam bir magmatik kayaç olmasına rağmen, üç farklı yönde gelişmiş eklem sistemleri ve buna bağlı olarak gelişen küresel ayrışma yapıları nedeniyle erozyona karşı tam anlamıyla dirençli değildir. Granodiyoritin masif yapısı, ilk bakışta yüzeysel erozyona karşı dayanıklı gibi görünse de, bu yapı içindeki eklemler boyunca ayrışma süreçleri hızlanmakta ve fiziksel ayrışma ile kimyasal çözünme eş zamanlı olarak etkili olmaktadır.

Küresel ayrışma, genellikle granitik kayaçlarda derinlikten yüzeye doğru gelişen ve blokların kenarlarından başlayarak içe doğru ilerleyen bir ayrışma türüdür. Bu süreç, granodiyoritin özellikle nemli ve sıcak iklim koşullarında hızlıca kil minerallerine (özellikle kaolinit, illit gibi) dönüşmesine neden olur. Yüzeyde gözlenen bu ayrışma ürünleri, toprak oluşumu açısından verimli olabilir ancak aynı zamanda erozyonla kolayca taşınabilecek ince malzeme üretimi anlamına gelir. Ayrıca ayrışmış granodiyorit, topoğrafik eğimin fazla olduğu alanlarda kolaylıkla yüzey akışı ile taşınarak sedimentasyon havzalarına, özellikle barajlara ulaşabilir.

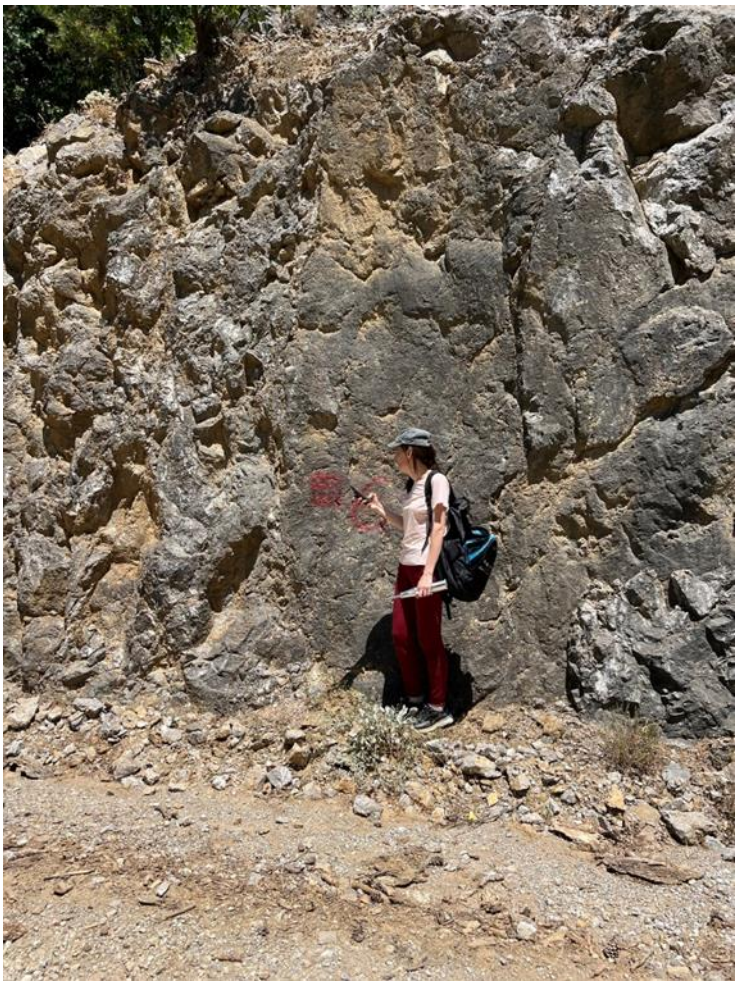
Kayaç içerisindeki yoğun aplit damarları, fiziksel bütünlüğü bozan başka bir unsurdur. Bu damarlar genellikle daha ince tanelidir ve çevre kayaçlara göre daha kırılgan yapıdadır. Bu nedenle, granodiyorit kütlesi içinde çatlakların başlangıç noktaları olarak işlev görerek mikroerozyonun ve blok ayrışmasının hızlanmasına neden olur. Aynı zamanda, granodiyoritin Çavdartepe ve Kınık formasyonları ile olan kontakt zonları, birimler arası mekanik farklılık nedeniyle erozyonun daha aktif olduğu yapısal zayıflık hatları oluşturur.

Sonuç olarak, Kozak Granodiyoriti ilk bakışta dayanıklı bir litoloji gibi değerlendirilse de eklem sistemleri, küresel ayrışma, damar yapıları ve kontakt zonlardaki yapısal zayıflıklar nedeniyle özellikle yüzeysel erozyon ve blok ayrışmasına karşı belirli ölçüde duyarlılık göstermektedir. Bu durum, granodiyoritin

yüzeyde yayılım gösterdiği bölgelerde erozyon kontrolü, toprak stabilizasyonu ve sediment yönetimi açısından dikkatli planlamalar yapılmasını zorunlu kılar.

4.1.1.1.1.8. Alt Miyosen Yaşlı Andezit – Tüf

Yürekli Dasiti, kuvars ve biyotit açısından zengin, kayaç parçacıklı, asidik bileşimli lav ve piroklastiklerden oluşan bir volkanik birim olarak tanımlanmıştır (Akyürek ve Soysal, 1978). Bu kayaçlar, gri-beyaz renkte olup, özellikle Yürekli Köyü, Hallaçlar Köyü'nün güneyi ve İvrindi İlçesi'nin (Balıkesir) güney kesimlerinde yaygın olarak gözlenmektedir (Şekil 8 ve 9). Birim, bu bölgelerde yer alan gölsel çökellerle ardalanmalı bir şekilde gelişmiş olup, çökel ortamında yer yer silisleşmiş fosil ağaç kalıntılarına da rastlanmaktadır. Bu durum, volkanizmanın gölsel ortamlarla eş zamanlı geliştiğini ve volkanik ürünlerin biyojenik materyallerle etkileşim halinde olduğunu göstermektedir. Saha gözlemleri ve petrografik incelemeler, bu birimin dasit ve riyolit bileşimli lavlardan oluştuğunu ortaya koymuştur. Volkanik lavlar, hipokristalin porfirik dokuya sahiptir. Bu lavlarda plajiyoklaz, kuvars, alkali feldispat, biyotit, apatit ve opak mineraller, başlıca fenokristal fazlarını oluşturmaktadır. Kayaç dokusunda, öz şekilli–yarı öz şekilli feldispatlar, öz şekilsiz kuvars kristalleri ve öz şekilli–yarı öz şekilli biyotit mineralleri baskındır. Bu mineralojik yapı, hızlı soğuma koşulları altında gelişen volkanik sistemin kristalizasyon evresine işaret etmektedir. Plajiyoklaz minerallerinde anortit içeriği %8 ila %44 arasında değişmekte olup, bu mineraller genellikle albit–andezin bileşiminde tanımlanmıştır. Mikroskobik incelemelerde polisentetik ikizlenme ve bazı örneklerde zonlanma yapıları dikkat çekmektedir. Biyotit mineralleri ise yer yer opaklaşma etkisi göstermekte olup, bu da hem magmatik hem de ikincil alterasyon süreçlerine işaret etmektedir. Hamur kısmı, devitrifiye olmuş volkan camı, feldispat mikrolitleri ve çeşitli ikincil minerallerden oluşmaktadır. Bu da lavların camsı matris içerdiğini ve kısmen kristalleşmeye uğradığını göstermektedir. Stratigrafik olarak, Yürekli Dasiti, Hallaçlar Volkaniti'nin üzerinde yer almakta olup, bu durum birimin göreceli olarak daha genç yaşlı olduğunu ortaya koymaktadır (Akyürek, 1989).



Şekil 8. Gümeli'nin Güney Batısındaki (6. İstasyon) Miyosen'e Ait Andezit – Tüf Üzerinde Kireçsiz Kahverengi Orman Toprakları. Bu Tür Volkanik Kökenli Ana Kayaçlar (Özellikle Tüf), Zamanla Kolayca Ayrışabilen ve Fiziksel-Kimyasal Yolla Dağılabilen Bir Yapıya Sahiptir.

Kaynak: Orijinal

Yürekli Dasiti, mineralojik ve petrografik özellikleri açısından değerlendirildiğinde, erozyon süreçlerine karşı kısmen duyarlı bir volkanik birim olarak sınıflandırılabilir. Asidik bileşimli volkanitlerin (özellikle dasit ve riyolit) içerdiği yüksek silika oranı, kayaçlara belirli ölçüde mekanik direnç kazandırsa da bu direnç özellikle kayaçların cam oranı yüksek, porfirik ve camsı matrisli yapılarında zayıflamaktadır. Yürekli Dasiti'nin hipokristalin porfirik dokusu ve devitrifiye olmuş volkan camı içeriği, fiziksel ayrışma süreçlerine karşı daha hassas olabileceğini göstermektedir.



Şekil 9. Küçükılıca'nın Güneyi ve Ballıbölük Tepe'nin Kuzeyindeki (10. İstasyon – Ortalama Sertlik 33,67) Miyosen'e Ait Andezit – Tüf. Görseldeki Kayaç Yapısı, Genel Olarak Sağlam ve Kompakt Bir Andezit Görünümünde Olsa da Yüzeyde Belirgin Çatlaklar ve Fiziksel Ayrışma İzleri Mevcuttur.

Kaynak: Orijinal

Birimde gözlemlenen fenokristal–matris ayrımı, özellikle yağışlı iklim koşullarında ayrışmanın matris fazında yoğunlaşmasına neden olur. Kuvars ve biyotit gibi mineraller, her ne kadar kendileri kimyasal olarak dirençli olsalar da aralarındaki camsı ve ince taneli alanlar çatlak gelişimine, suyun girmesine ve saha bazında mikroerozyonun hızlanmasına neden olabilir. Ayrıca plajiyoklazlarda gözlenen zonlanma ve ikizlenme yapıları, kırılma düzlemleri boyunca ayrışmayı kolaylaştırarak hem fiziksel hem de kimyasal çözünmenin etkisini artırmaktadır.

Yürekli Dasiti'nin yayılım gösterdiği alanların bazı kesimlerinde volkanik dom yapılarının gelişmiş olması, topoğrafik eğimin yüksek olabileceğini işaret etmektedir.

Bu durum, yerçekimi etkili yüzey akışı ve çökme-tasınım mekanizmaları açısından erozyon riskini artırmaktadır. Üstelik birim, gölsel çökellerle ardalanmalı olarak bulunmakta ve bu çökeller genellikle daha zayıf kohezyona sahip olduğu için erozyon farklılaşması (diferansiyel erozyon) olgusu da bu sahalarda sıklıkla ortaya çıkabilir. Yani, volkanit–çökel kayaç sınırlarında malzeme taşınımı hızla değişebilir ve topografik düzensizlikler oluşabilir.

Volkanik kökenli bu birimin bulunduğu yerlerde ayrıca silisleşmiş ağaçlar gibi biyojenik yapılar da gözlemlenmektedir. Bu yapılar yer yer dirençli bariyerler oluşturabilse de çevresindeki ince taneli tüf veya camsı malzemenin ayrışmasıyla birlikte mikrorelief oluşumları ve lokal yüzey erozyonu hızlanabilir. Diğer yandan, volkanik hamurun camsı karakteri nedeniyle, suyu emme ve geçirme kapasitesi sınırlı olabilir. Bu da yüzey akışının artmasına ve özellikle şiddetli yağış dönemlerinde yüzeysel erozyonun tetiklenmesine neden olur.

Sonuç olarak, Yürekli Dasiti, litolojik sertliği yüksek volkanik birim gibi görünse de camsı matris içeriği, volkanik dom morfolojisi, gölsel çökellerle ardalanmalı yapısı ve ayrışma özellikleri nedeniyle orta düzeyde erozyon duyarlılığına sahiptir. Özellikle eğimli arazilerde, bitki örtüsünün zayıf olduğu alanlarda veya gölsel çökellerle sınır oluşturduğu bölgelerde erozyon kontrol önlemleri alınması gerekmektedir. Bu önlemler, yüzey akışını azaltmaya, toprak stabilitesini artırmaya ve sediman taşınımını sınırlamaya yönelik olarak planlanmalıdır.

4.1.1.1.1.9. Alt Miyosen Yaşlı Kumtaşı – Çamurtaşı – Kireçtaşı (Soma Formasyonu)

Biga Yarımadası'nın iç kesiminde, Balıkesir'in güneyinde (Şekil 10) yüzeylenen ve litolojik olarak başlıca marn, silttaşı, kumtaşı ve kireçtaşından oluşan sedimanter kayaç topluluğu, Soma Formasyonu olarak tanımlanmıştır (İnci, 1984). İnceleme alanı kapsamında, özellikle İvrindi ilçesinin güney kesimlerinde bu formasyonun geniş yayılımları dikkat çekmektedir. Formasyon, çamurtaşı, marn, silttaşı, tüf, kumtaşı ve kireçtaşı gibi farklı sedimanter birimlerin ardalanmasından oluşmakta ve genel olarak detritik, karbonatlı ve volkanoklastik tortulardan meydana gelmektedir. Özellikle kireçtaşı seviyelerinde stromatolitik yapılar ile algal sarılımlı pizolitik tekstürler gözlenmektedir. Bu karbonat yapılar, sığ ve durağan su koşullarında

gelişmiş biyokimyasal çökelmenin göstergesi niteliğindedir. Paleontolojik açıdan, formasyona ait kireçtaşı seviyelerinde tanımlanan Candona parallela pannonica Zalanyi ostrakod fosili, birimin yaşını Miyosen olarak belirlemeye olanak sağlamaktadır. Ayrıca bu ostrakodun tatlı su formu olması, Soma Formasyonu'nun çökeldiği ortamın gölsel karakter taşıdığını net biçimde ortaya koymaktadır. Sedimanter yapılara ve tortul bileşenlere dayalı olarak, birimin plaj ve kıyı yüzü ortamında çökelmiş olduğu değerlendirilmiştir (Akyürek, 1989).

Soma Formasyonu'nun içerdiği litolojik çeşitlilik, birimin erozyon açısından heterojen bir davranış sergilemesine neden olmaktadır. Formasyonun marn, silttaşı ve çamurtaşı gibi ince taneli, kohezyonu düşük kayaçları, özellikle eğimli arazilerde yüzeysel akışa bağlı olarak kolayca ayrışmakta ve taşınmaktadır. Bu litolojiler suyu bünyesinde tutma kapasiteleri sınırlı, ancak suya karşı hassas olduklarından, mekanik erozyon ve parmak (rill) oluşumu açısından oldukça risklidirler.

Kumtaşı seviyeleri, çimentolanma derecelerine bağlı olarak kısmen dirençli olabilir; ancak zayıf çimentolu olanlar suya karşı dağılmaya açıktır. Tüf seviyeleri, volkanik kökenli olmalarına rağmen gölsel çökel ortamda oluşmuş ve ince taneli karakterleri nedeniyle kolay ayrışabilen yapılardır. Bu da formasyonu, özellikle şiddetli yağış dönemlerinde erozyonla taşınmaya uygun ince malzeme üretimi açısından zengin hale getirir.

Kireçtaşı seviyeleri, kristalize yapıda olduğunda erozyona karşı daha dirençli olsalar da, karstlaşmaya açık oldukları için kimyasal erozyon sürecine maruz kalabilirler. Ayrıca stromatolitik yapılar ve biyokimyasal çökeller, yoğun çatlaklı alanlarda çözünme ve yüzey bozulmaları açısından hassas olabilir.

Sonuç olarak, Soma Formasyonu erozyona karşı genel olarak orta-yüksek düzeyde duyarlılık gösteren birimlerden biridir. İnce taneli litolojilerin egemen olduğu bölgelerde yüzey erozyonu ve sediment taşınımı önemli bir risk oluştururken, karbonatlı seviyelerde karstik boşluklar ve mikroerozyon etkileri öne çıkar. Bu nedenle formasyonun yayılım gösterdiği alanlarda arazi kullanımında eğim, bitki örtüsü durumu ve yüzey suyu dinamikleri mutlaka dikkate alınmalıdır.

4.1.1.1.1.10. Üst Miyosen–Pliyosen Yaşlı Andezit – Tüf (Yuntdağ Volkanitleri) Birimleri

Yuntdağ Volkanitleri, Üst Miyosen–Pliyosen yaşlı olup litolojik olarak andezit, tüf, silisleşmiş tüf, lahar, aglomera ve daha az oranda bazalt bileşiminde volkanik kayaçlardan oluşmaktadır. Bu birim, bölgedeki volkanik etkinliğin çok evreli gelişimini yansıtan karmaşık bir yapıya sahiptir. Yuntdağ Volkanitleri, stratigrafik olarak Soma Formasyonu'nun altında, üstünde ve yer yer içinde lav akıntıları ile tüfit düzeyleri şeklinde izlenebilmektedir. Bu durum, volkanik faaliyetlerin Soma Formasyonu'nun çökelimi sırasında çeşitli evrelerle devam ettiğini göstermektedir. Yuntdağ volkanitlerine ait kayaç parçaları, kendisinden sonra gelen Ballıca Formasyonu içerisinde volkanik çakıllar şeklinde yer almakta olup, bu durum volkanik malzemenin sedimanter süreçlerce yeniden taşındığını ve çökelim sistemlerine katkı sağladığını göstermektedir. Bölgedeki volkanizma, Miyosen öncesinde başlamış ve Üst Miyosen–Pliyosen dönemine kadar aralıklı olarak sürmüştür. Bu uzun süreli volkanik etkinlik, bölgenin tektonik ve sedimanter evriminde önemli rol oynamıştır (Akyürek, 1989).

Yuntdağ Volkanitleri, içerdiği farklı volkanik kayaç türleri nedeniyle erozyon açısından heterojen bir davranış sergilemektedir. Özellikle tüf ve silisleşmemiş tüfit düzeyleri, gözenekli ve camsı yapıları nedeniyle fiziksel ayrışmaya ve yüzeysel akışla taşınmaya oldukça duyarlıdır. Bu tür ince taneli volkanoklastik materyaller, yağışlı dönemlerde hızla çözülüp taşınabilen zayıf litolojiler olarak öne çıkar. Bu da yüzeyde ince toprak kayıplarına, rill ve sheet erozyonu gibi yüzey erozyon biçimlerine neden olabilir.

Birimde yer alan lahar ve aglomera seviyeleri, başlangıçta daha kaba ve dayanıklı litolojiler olsa da bloklar arasındaki zayıf matriks zamanla ayrışarak blok düşmesi, kitle hareketleri ve çapraz eğim boyunca malzeme taşınımı gibi süreçleri tetikleyebilir. Özellikle lahar yapılarında yer alan kilce zengin matris, suya doygunluk durumunda plastik davranış göstererek kütle hareketlerine zemin hazırlayabilir.

Andezit ve bazalt gibi daha masif ve kristalin lavlar, genellikle erozyona karşı daha dayanıklıdır. Ancak bu kayaçlar içinde gelişmiş eklem sistemleri, soğuma çatlakları ya da alterasyon zonları boyunca fiziksel ayrışma hızlanabilir. Ayrıca, bu tür

dayanıklı volkanik kayaçların üzerinde oluşan topraklar genellikle incedir ve eğimli sahalarda korumasız bırakıldığında hızla taşınabilir.



Şekil 10. Fotoğrafta Yer Alan Saha, Gümeli Yerleşim Birimine Yaklaşık 1,6 Kilometre Mesafede Bulunmakta Olup, Permiyen-Triyas Dönemine Ait Çakıltaşı-Kumtaşı-Çamurtaşı Ardalanmasından Oluşmaktadır. Schmidt Sertlik Ölçümüne Göre 4 Numara ile Tanımlanan Bu Nokta, 20 ile 40 Derece Arasında Değişen Eğim Değerlerine Sahip Olduğu İçin Dik Yamaç Karakteri Göstermektedir.

Kaynak: Orijinal

Sonuç olarak, Yuntdağ Volkanitleri'nin içerdiği farklı türde lav ve piroklastik kayaçlar, birimi orta-yüksek erozyon riski taşıyan karma bir volkanik sistem haline getirmektedir. Özellikle tüfit ve tüf içeren seviyeler, yağış, eğim ve bitki örtüsünün az olduğu alanlarda hızla ayrışarak sediment kaynaklı su yapılarında birikime ve havza bazlı sediment yükünün artmasına neden olabilir. Bu nedenle, Yuntdağ Volkanitleri'nin

yayılım gösterdiği bölgelerde erozyon kontrol önlemleri ve arazi kullanım planlaması hem yüzey stabilitesi hem de su kaynaklarının korunması açısından kritik önemdedir.

4.1.1.1.1.11. Üst Miyosen-Pliyosen Yaşlı Aglomera Birimleri

Rahmanlar Aglomerası, Üst Miyosen–Pliyosen yaşlı volkanik kökenli bir birim olup, harita alanında özellikle kuzey–güney yönelimli geniş yayılımlarla temsil edilmektedir. Litolojik olarak, birim yuvarlak ve yarı köşeli andezit çakıllarının tüf matriksiyle çimentolanmasından oluşmaktadır (Şekil 11). Bu yapısıyla tipik bir volkanik aglomera karakteri sergilemektedir. Aglomeratik yapı içerisinde yer yer ince tüfit ve miltaşı düzeyleri gözlemlenmekte, bu seviyeler birimin çökelme sürecinde farklı enerji koşullarına maruz kaldığını ve sedimanter–volkanoklastik geçişler içerdiğini ortaya koymaktadır. Yapısal ve stratigrafik olarak Rahmanlar Aglomerası, bölgedeki Yuntdağ Volkanitleri ve Soma Formasyonu ile girik (intertonguing) ilişki sunmakta, bu nedenle Üst Miyosen–Pliyosen yaşlı olarak değerlendirilmiştir (Akyürek, 1989).

Rahmanlar Aglomerası, içerdiği iri boyutlu andezit çakılları ve ince taneli tüf matriksi nedeniyle erozyon açısından heterojen duyarlılık gösteren bir volkanoklastik birimdir. Aglomeradaki iri andezit çakılları fiziksel olarak oldukça dayanıklı olmakla birlikte, bu çakılları bir arada tutan tüf matris, gözenekli, camsı ve gevşek yapısıyla fiziksel ve kimyasal ayrışmaya son derece açıktır.

Bu zayıf matriksin ayrışması sonucu, yüzeydeki bloklar stabilitesini kaybederek blok düşmeleri, yüzeysel akma ve kütle hareketleri gibi erozyonla ilişkili süreçleri tetikleyebilir. Özellikle eğimli sahalarda, yağışla birlikte matriksin erimesiyle taşınabilir malzeme üretimi artmakta ve bu durum sediment yükünü doğrudan artırmaktadır.

Formasyon içinde sıkça rastlanan tüfit ve miltaşı düzeyleri, düşük dirençli litolojiler olarak ince materyalin taşınmasını kolaylaştırmakta, bu da tabaka (sheet) ve parmak (rill) erozyonu gibi yüzeysel süreçlerin etkinliğini artırmaktadır. Ayrıca tüfit düzeyleri genellikle suyu emip gevşeyen yapılar olduğu için, doygun hale geldiğinde akışa geçme ve taşınım riski de oldukça yüksektir.



Şekil 11. Fotoğrafta Yer Alan Saha, Haydar Yerleşim Biriminin Kuzeybatısında Bulunmakta Olup, Üst Miyosen – Pliyosen Dönemine Ait Aglomeratik Kayaçlar Üzerinde Gelişmiş Kireçsiz Kahverengi Orman Topraklarıyla Kaplıdır.

Kaynak: Orijinal

Sonuç olarak, Rahmanlar Aglomerası, dayanıklı andezit çakıllarına rağmen zayıf bağlayıcı matrisi ve tüfit içerikleri nedeniyle orta-yüksek erozyon riski taşıyan bir birim olarak değerlendirilmelidir. Özellikle eğimli ve bitki örtüsünden yoksun alanlarda erozyon riski ciddi boyutlara ulaşabilir. Bu nedenle, birimin yayılım gösterdiği bölgelerde erozyon kontrol önlemleri, yüzey akışının yönetimi ve toprak stabilizasyon çalışmaları büyük önem taşımaktadır.

4.1.1.1.1.12. Üst Miyosen-Pliyosen Yaşlı Gölsel Kireçtaşı (Soma Formasyonu) Birimleri

Soma Formasyonu'na ait Gölsel Kireçtaşı, Üst Miyosen–Pliyosen yaşlı bir birim olup, çalışma alanında geniş yüzey yayılımı göstermektedir. Formasyon; killi kireçtaşı, marn, miltaşı, tüfit, kumtaşı ve konglomera ardalanmasından oluşmakta ya da bu litolojilerden bir ya da birkaçının baskın olduğu karma tortul istifler biçiminde tanımlanmaktadır (Şekil 12). Litolojik çeşitliliği yüksek olan bu birim, çökelme ortamında zaman içinde değişen enerji ve kimyasal koşulları yansıtmaktadır. Formasyon genel olarak beyaz, sarı, boz ve gri tonlarında renklenme göstermekte olup, ince, orta ve kalın tabakalanmalı yapılarla karakterizedir. Tabakalar çoğunlukla yatay ya da yataya yakın gelişmiştir; ancak bölgesel sıkışma etkisiyle yer yer yatık kıvrımlı ya da devrik kıvrımlı deformasyon yapıları da gözlemlenmektedir. Killi ve karbonatlı düzeylerde zaman zaman laminalı yapılar izlenebilmekte olup, bu durum düşük enerjili, sakin gölsel ortamlarda gerçekleşen çökelme süreçlerinin göstergesidir. Formasyon içerisinde kömür düzeyleri ile birlikte yer yer bitümlü şist seviyeleri de bulunmakta, bu da organik madde açısından zengin bir çökelme ortamının varlığına işaret etmektedir. Stratigrafik olarak, Soma Formasyonu Ballıca Formasyonu ile geçişli, Rahmanlar Aglomerası ile girik (intertonguing) konumdadır; ayrıca Dededağ Bazaltı tarafından kısmen kesilmekte ve örtülmektedir (Akyürek, 1989).

Gölsel Kireçtaşı'nın oluşturduğu Soma Formasyonu, içerdiği killi karbonatlı tortullar, marn, miltaşı, tüfit ve ince taneli kayaçlar nedeniyle erozyon açısından oldukça hassas bir yapı sergilemektedir. Özellikle killi kireçtaşı, marn ve miltaşı gibi düşük dayanımlı, kohezyonu zayıf litolojiler; şiddetli yağış, eğim ve bitki örtüsünün yokluğu gibi etkenlerle kolayca yüzey erozyonuna ve taşınıma maruz kalabilmektedir.

Birimde yer yer gözlemlenen laminalı düzeyler, tabakalar arası su sızmasına ve ayrışmaya uygun yapıdadır. Bu laminalar boyunca gelişen ayrılmalar, mikroerozyon süreçlerini hızlandırabilir. Aynı şekilde, organik madde içeriği yüksek olan bitümlü şist ve kömür düzeyleri, suya karşı duyarlıdır ve zamanla ayrışarak zayıf zonlar oluşturabilir; bu da düşey yamaçlarda stabilite problemlerine yol açabilir.



Şekil 12. Fotoğrafta Yer Alan Saha, Mallıca Yerleşim Biriminin Güneybatısında Bulunmakta Olup Neojen Dönemine Ait Gölsel Depolarda Gelişmiş Kumtaşı, Çamurtaşı ve Kireçtaşı Ardalanmasıyla Karakterizedir.

Kaynak: Orijinal

Tüfit seviyeleri, camsı yapıları ve ince taneli dokuları nedeniyle kimyasal ve fiziksel ayrışmaya açık olup, özellikle yağışlı dönemlerde sediment taşınımını artıran kil benzeri ürünler oluşturabilir. Kumtaşı ve konglomera düzeyleri ise, çimentolanma derecesine bağlı olarak yer yer daha dirençli litolojiler sunabilir; fakat bu litolojiler bile marn ve tüf ile ardalanmış olduğundan diferansiyel erozyon etkisiyle topoğrafyada düzensizlik ve yamaçlarda çökme riski yaratabilir.

Sonuç olarak, Gölsel Kireçtaşı seviyeleriyle temsil edilen Soma Formasyonu, çökellerin yapısı, litolojik zayıflığı ve yapısal deformasyonlara açık kıvrımlı yapısı nedeniyle orta–yüksek düzeyde erozyon riski taşıyan birimlerden biridir. Özellikle yüzeysel akışa maruz kalan eğimli sahalarda, suyun taşıma gücüne karşı koyamayan bu litolojiler, zamanla toprak kaybı, sediman taşınımı ve heyelan gibi sorunlara yol açabilir. Bu nedenle, bu birimin yayılım gösterdiği alanlarda erozyon kontrolü, drenaj yönetimi ve arazi kullanım planlaması büyük önem arz etmektedir.

4.1.1.1.2. Yapısal Özellikler ve Jeolojik Evrim

Çalışma sahasının temel yapısal çerçevesi, farklı yaş ve litolojik bileşenlere sahip formasyonların bir araya gelmesinden oluşmakta olup, bu birimler çeşitli orojenez evrelerinde gerçekleşen tektonik süreçler sonucunda kıvrımlanmış, kırılmış ve genel olarak belirgin eğim kazanmıştır. Sahadaki yapısal motifler özellikle Alp Orojenezinin son evrelerinden yoğun biçimde etkilenmiş; bölgedeki kıvrım ekseni doğrultuları çoğunlukla kuzeydoğu–güneybatı yönelimli bir düzenlilik sunmuştur. Bu yönelim, saha genelinde hem litolojik süreksizliklerin hem de topoğrafik şekillenmenin ana belirleyicilerinden biridir.

Bölgenin jeolojik evrimi, Paleozoik sonu–Mesozoyik başlangıcı arasında Anadolu'nun batısındaki masiflerin tektonik ilişkileriyle yakından bağlantılıdır. Permo-Karbonifer'e kadar birbirleriyle ilişkili olan Menderes, Kazdağ ve Uludağ masifleri, Üst Permiyen–Alt Triyas döneminde başlayan okyanuslaşma süreciyle ayrılmaya yönelmiştir. Bu tektonik rejim altında, Alt Triyas yaşlı, düşük derecede metamorfizma geçirmiş detritiklerden oluşan ve spilitik katkılar içeren, Permiyen–Karbonifer yaşlı bloklarca temsil edilen Karakaya Formasyonu çökelmiştir (Bingöl, 1976).

Çalışma sahasında aynı birim Akyürek ve Soysal (1978: 54) tarafından Halilağa Grubu olarak adlandırılmış ve Alt Triyas'a tarihlendirilmiştir. Formasyon içerisindeki spilitik kayaç varlığı, bu dönemde bir okyanusal açılmanın gerçekleşmiş olabileceğini doğrulayan önemli kanıtlardan biridir. Söz konusu spilitler, gelişen gerilme rejimi sonucunda yükselen manto malzemesinin yüzeye yaklaşması veya grabenleşmeye bağlı tektonik hatlar boyunca düşük dereceli bazik volkanizmanın etkinlik kazanmasıyla oluşmuş olabilir.

Orta Triyas'tan itibaren okyanuslaşma süreci yavaşlamış, masiflerin birbirine yaklaşmasıyla rejyonal metamorfizma gelişmiş; özellikle Alt Triyas birimleri yeşil şist fasiyesinde düşük dereceli metamorfik dönüşüme uğramıştır. Alt Triyas sonunda başlayan okyanus kapanımı, Üst Kretase boyunca devam etmiş; bu süreçte Menderes Masifi'nin kuzey ve kuzeybatıya doğru Kazdağ Masifi altına dalması (subdüksiyon) sahadaki jeodinamik yapının belirleyici unsurlarından biri olmuştur. Bölgenin güneyindeki Kozak granodiyoritinin Eosen sonlarında yerleşmesi ile Miyosen sonrası

etkin asidik ve alkali volkanizma, bu dalma–batma rejiminin yüzeydeki yansımaları olarak değerlendirilebilir.

Eosen–Oligosen döneminde Batı Anadolu genel bir yükselme evresi geçirmiş, bu yükselim Menderes Masifi çevresinde yaygın molas havzalarının oluşumuna yol açmıştır (Bingöl, 1976). Pliyosen'de de bölgesel yükselme devam etmiş, bunun sonucunda Batı Anadolu boyunca doğu–batı doğrultulu graben sistemlerini oluşturan gerilme kuvvetleri etkinlik kazanmıştır. Bu tektonik süreç, Kuvaterner boyunca da etkisini sürdürmüş; bölgedeki yüksek sismisite (Gülüm, 2001), güncel tektonizmanın devam ettiğini göstermektedir.

Saha geçmişte farklı dönemlerde volkanik aktivitelere maruz kalmıştır. Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı formasyonlara eşlik eden ofiolitik kayaçlar, okyanusal kabuğa ilişkin unsurların bölgede varlığını işaret etmektedir. En genç volkanik faaliyetler Neojen'de gerçekleşmiş; Miyosen döneminde fissür tipi volkanizmadan türeyen piroklastik ürünler, Pliyosen'de ise tektonik hatlara bağlı olarak bazaltik akıntılar yüzeye çıkmıştır (Hoşgören, 1983).

Bu çok evreli tektonik ve magmatik gelişim, günümüzde sahadaki topoğrafyanın, litolojik dayanım farklılıklarının ve drenaj örgüsünün oluşumunda belirleyici olmuştur. Dolayısıyla bölgenin erozyon risk potansiyeli, hem jeolojik evrim sürecinin ürettiği kırıklı–çatlaklı yapıya hem de metamorfik ve volkanik birimlerin ayrışma özelliklerine doğrudan bağlıdır.

4.1.1.1.3. Havzadaki Litolojik Birimlerin Sertlik ve Alterasyon Durumu

Erozyon ile kayaç sertliği arasındaki ilişki, yer yüzeyinin şekillenmesinde belirleyici olan temel dinamiklerden biridir. Kayaç sertliği, bir kayaç biriminin dış etkenlere (özellikle mekanik kuvvetlere) karşı gösterdiği direnç düzeyini ifade etmektedir. Genel olarak, sert kayaçlar (örneğin granit, bazalt, kuvarsit gibi) fiziksel ayrışma ve erozyon süreçlerine karşı daha yüksek direnç gösterirken, yumuşak veya zayıf yapıdaki kayaçlar (örneğin kiltaşı, tüf, şeyl) çok daha kolay ayrışmakta ve taşınabilmektedir (Şekil 13). Sert kayaçlarda ayrışma çoğunlukla yüzeysel ve yavaş olurken, düşük sertlikteki kayaçlar daha hızlı ayrışır, çatlaklar boyunca parçalanır ve daha çabuk taşınır. Dolayısıyla, bir arazide erozyonun şiddeti sadece eğim ve iklim gibi faktörlere değil, aynı zamanda kayaç türünün fiziksel dayanımına da doğrudan

bağlıdır. Bu bağlamda, düşük sertlik değerine sahip kayaçlar, erozyon açısından daha yüksek risk taşımaktadır ve genellikle toprak oluşumu süreçlerinin de daha hızlı gerçekleştiği alanları temsil etmektedir. Öte yandan, yüksek sertlik değerine sahip kayaçlar, genellikle erozyona karşı dirençli yamaçlar ve topoğrafik yükseltiler oluşturur. Sonuç olarak, kayaç sertliği, erozyonun hızı, biçimi ve dağılımı üzerinde belirleyici bir rol oynar ve bu iki parametre jeomorfolojik süreçler açısından birbirini tamamlayan önemli göstergelerdir.

Erozyon ile kayaç alterasyonu arasındaki ilişki ise, yüzey süreçleri kapsamında jeomorfolojik ve jeokimyasal etkileşimlerin bütüncül bir sonucudur. Alterasyon, kayaçların fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçler sonucu orijinal özelliklerini yitirerek bozunuma uğramasıdır; bu süreç kayaçların yapısal bütünlüğünü zayıflatır ve onları dış etkenlere karşı daha savunmasız hale getirir. Özellikle fiziksel ayrışma (mekanik alterasyon) sonucunda oluşan çatlaklar ve porozite artışı, suyun, hava ile çözünmüş gazların ve organizmaların kayaç içerisine daha kolay nüfuz etmesine olanak tanımaktadır. Bu durum hem kimyasal alterasyonu hızlandırıp hem de kayaçların parçalanma direncini düşürerek erozyon süreçlerinin etkinliğini artırmaktadır. Öte yandan, erozyonun ilerlemesiyle birlikte yüzeydeki altere olmuş malzeme ortamdan uzaklaştırıldıkça, daha taze kaya yüzeyleri açığa çıkar ve bu yüzeyler yeniden alterasyon süreçlerine maruz kalır. Bu karşılıklı etkileşim döngüsü, özellikle eğimli ve bitki örtüsü zayıf sahalarda hızlı toprak kayıplarına ve jeoteknik açıdan istikrarsız koşulların gelişmesine neden olmaktadır. Dolayısıyla, alterasyon erozyona zemin hazırlarken, erozyon da alterasyona uğramış zonların taşınımını ve açığa çıkan yeni yüzeylerin alterasyonunu tetikleyerek bu iki sürecin birbirini besleyen dinamik bir ilişki içinde ilerlemesine neden olur.

Çalışma sahasındaki anakaya türlerinin ortalama yüzey sertliklerini belirlemek amacıyla, her bir ölçüm yüzeyinde Schmidt çekici ile dokuz vuruş (istatistiksel güvenilirlik için) gerçekleştirilmiştir. Yapılan ölçümlerde olası yüzey düzensizlikleri, çatlaklar veya noktasal heterojenliklerin etkisini azaltmak amacıyla, elde edilen dokuz geri sekme (rebound) değerinden en düşük üçü elenmiş, kalan altı değerin aritmetik ortalaması alınarak her bir anakaya birimi için Ortalama Schmidt İndeksi (SI) hesaplanmıştır (Tablo 12 ve 16).



Şekil 13. Kule Tepe'nin Kuzey Batısında Yer Alan Bu Noktada, Permiyen-Triyas Yaşlı Metakırıntılı Kayaçlar ve Kahverengi Orman Toprakları Gözlemlenmektedir. Eğim 20–40 Derece Aralığında Olup, Alanda Belirgin Bir Şekilde Fiziksel Ayrışma ve Tabakalanma Boyunca Parçalanma Dikkat Çekmektedir. Kaynak: Orijinal

En düşük üç değerin dışlanması, ölçüm yapılan yüzeylerdeki mikroskobik bozulmalar, boşluklar ya da cihazın açı farkından kaynaklanabilecek uç değerlerin

etkisini azaltmak amacıyla uygulanmıştır. Bu yöntem sayesinde elde edilen SI değerleri, anakaya türlerinin yerinde (in-situ) mekanik özelliklerini daha sağlıklı biçimde temsil etmektedir. Bu yaklaşım, yüzey koşullarından kaynaklanabilecek sapmaları en aza indirerek, kayaç birimlerinin genel sertlik özelliklerini daha temsil edici şekilde yansıtmaktadır. Ayrıca bu yöntem, literatürde yaygın olarak kabul edilen "trimmed mean" (kırpılmış ortalama) prensibine dayanmaktadır ve jeoteknik çalışmalarda güvenilirliği artırmak için önerilmektedir.

Ölçüm varyasyonlarının azaltılması amacıyla elde edilen geri sekme değerlerinden uç değerlerin elenmesi ve kalan değerlerin ortalamasının alınması yöntemi, ISRM (2007) tarafından önerilen standartlar doğrultusunda ve Aydin ve Basu (2005) tarafından detaylandırıldığı şekilde uygulanmıştır (Tablo 9).

Tablo 8. Schmidt Çekici Geri Darbe Sayısına Göre Kaya Sınıflaması

Kaya Sınıfı	Schmidt Çekici Geri Darbe Sayısı
Fevkalade Sert Kaya	> 60
Çok Sert Kaya	60 – 45
Sert Kaya	45 – 30
Yumuşak Kaya	30 – 24
Çok Yumuşak Kaya	24 – 20
Çok Sert (Katı) Toprak	20 - 16

Kaynak: De Beer, 1967 (Tarhan, 2002).

Tablolarda (12 ve 16) belirtilen “Literatür Taze Sertlik” değeri literatürde yer alan maksimum sertlik değerini ifade etmektedir. Jeolojide “taze” ifadesi; alterasyona uğramamış, bozulmamış kayaç örneğinin dayanımıdır. Her kayaç türü için "taze sertlik değeri" olarak literatürde bildirilen maksimum Schmidt sertlik değeri (R_{max}) referans alınmıştır (Aydin ve Basu, 2005). Bu değerler, kayaçların alterasyona uğramamış hallerini temsil etmektedir.

Geritepme sayısı sınıflandırma parametresi kabul edilerek yapılan en kullanışlı kaya sınıflaması de Beer (1967) tarafından verilmiştir (Tarhan, 2002) (Tablo 8).

Alterasyon İndeksi (AI – Alteration Index) Hesaplama (Tablo):

Alterasyon İndeksi (AI), kayaçların fiziksel bozulma derecesini değerlendirmek amacıyla, ölçülen Schmidt değerinin (SI) literatürdeki maksimum değerle karşılaştırılması yoluyla hesaplanmıştır. Diğer bir ifadeyle alterasyon değerleri, literatürde bildirilen maksimum sertlik değerleri (taze durum) referans alınarak hesaplanmıştır. AI, Tablo 12 ve 16'da beşinci sütunda oran olarak ifade edilmiştir ve aşağıdaki formülle elde edilmiştir:

$$AI = 1 - \frac{R_{altered}}{R_{fresh}}$$

$R_{altered}$: Alterasyonlu örneğin ortalama Schmidt değeri (SI)

R_{fresh}: Taze örneğin ortalama Schmidt değeri

Sonuç: Alterasyonun oran olarak ifade edilmesi

Tablo'da (yaz ve kış) altıncı sütunda ise alterasyon yüzde olarak ifade edilmiştir. Yüzde olarak hesaplamada ise aşağıdaki formül (Tablo 9) kullanılmıştır:

$$AI = \left(1 - \frac{R_{altered}}{R_{fresh}}\right) * 100$$

$R_{altered}$: Alterasyonlu örneğin ortalama Schmidt değeri (SI)

R_{fresh}: Taze örneğin ortalama Schmidt değeri

Sonuç: Kayaç örneğinin ideal taze durumdan ne kadar uzaklaştığı, yani alterasyon yüzdesi

Bu yöntem ile kayaçların taze durumlarına kıyasla ne ölçüde fiziksel bozulmaya uğradığı belirlenmiş, alanda gözlemlenen yapısal zayıflıklarla uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Özellikle [örneğin: andezit–tüf birimleri], literatür değerine göre %46'ya varan alterasyon oranları ile dikkat çekmektedir. Bu durum, söz konusu birimlerin yüzeysel etkiler (iklimsel, hidrolojik veya antropojenik) nedeniyle fiziksel özelliklerinde önemli düzeyde kayıplar yaşadığını göstermektedir.

Tablo 9. Alterasyon Hesaplamasında Kullanılan Formüller ve Açıklaması

Hesaplama Şekli	Formül	Açıklama
Yüzdeli AI	$AI = \left(1 - \frac{R_{altered}}{R_{fresh}}\right) * 100$	Değeri % olarak verir
Oransal AI	$AI = 1 - \frac{R_{altered}}{R_{fresh}}$	0 ile 1 arasında oransal değer

Kaynak: Aydın ve Basu (2005)

Schmidt çekici ölçümleri, ISRM (2007) tarafından önerilen standart yöntemler doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Ölçüm tekrarı, minimum değerlerin elenmesi ve ortalama R değerinin alınması gibi uygulamalar, bu standartlara dayanmaktadır. Elde edilen ortalama R değerleri, Aydin ve Basu (2005) tarafından önerilen yaklaşıma uygun şekilde literatür maksimum sertlik değeri ile karşılaştırılarak alterasyon indeksi (AI) hesaplanmıştır.

Alterasyon derecelerinin sınıflandırılmasında ise Tablo 10 (Selby, 1993) ve Tablo 11 (ISRM, 2007)'daki veriler kullanılmıştır.

Tablo 10. Literatürde Önerilen Sınıflandırmalara Göre Schmidt Index ile Alterasyon (Ayrışma) Derecelerinin Sınıflandırılması

Ayrışma Derecesi	Tanım	SI Aralığı
Grade I	Taze (Hiç ayrışmamış)	> 50
Grade II	Hafif ayrışmış	35 – 50
Grade III	Orta derecede ayrışmış	20 – 35
Grade IV	İleri düzeyde ayrışmış	10 – 20
Grade V	Aşırı ayrışmış	< 10

Kaynak: Selby, 1993

Tablo 11'de belirtilen "R" değeri: Schmidt çekiciyle yapılan her bir vuruşta cihazın gösterdiği değerdir. Geri tepme sayısı (rebound number) veya geri tepme değeri (rebound value) olarak da ifade edilmektedir.

Tablo 11. Kayaç Alterasyonu İçin Nitel Sınıflama

Alterasyon Derecesi	Schmidt Değeri (R)	Gözlemsel Özellik
Çok Taze	> 50	Sert, parlak kırık yüzey
Az Alterasyonlu	35 – 50	Hafif renk değişimi, kılcal çatlak
Orta Alterasyonlu	20 – 35	Renk değişimi, çürüme başlangıcı
Kuvvetli Alterasyon	< 20	Yumuşama, ayrışma, çamurlaşma

Kaynak: ISRM, 2007

4.1.1.1.3.1. Yaz Dönemi Sertlik ve Alterasyon Durumu

Ardıçtepe Barajı Havzası'nda yapılan yaz dönemi saha çalışmalarında, farklı ana kayaç gruplarına ait toplam 17 istasyonda Schmidt sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Her bir istasyonda yapılan 9 vuruştan en düşük üç değer elenmiş ve kalan altı değerin ortalaması alınarak yaz dönemi sertlik değerleri hesaplanmıştır. Bu ölçümler, kayaçların mevcut fiziksel dayanım durumunu ortaya koymak açısından önemlidir. Sertlik değerleri, literatürde bildirilen taze (alterasyona uğramamış) maksimum sertlik değerleriyle karşılaştırılarak alterasyon indeksleri (AI) ve yüzdesel alterasyon oranları hesaplanmıştır (Tablo 12).

Baraj havzasında farklı anakaya türlerine ait istasyonlarda ölçülen Schmidt sertlik değerlerine göre hesaplanan alterasyon indeksleri (AI), kayaçların yüzeysel ve yapısal alterasyon düzeyleri hakkında önemli bilgiler sunmaktadır. Alterasyon indeksinin yüksek değerleri, kayacın taze haline göre daha fazla fiziksel-bozulma yaşadığını ve bu nedenle erozyon süreçlerine karşı daha duyarlı olduğunu göstermektedir. AI değerlerinin yüzdelik ifadesi, risk analizlerinde karşılaştırmayı kolaylaştırmış ve alterasyonun alansal dağılımının net bir şekilde ortaya konmasına imkân sağlamıştır (Tablo 12).

İnceleme sonucunda AI yüzdesi %40'a yaklaşan ve üzerinde olan bölgeler, baraj havzasında erozyon açısından en riskli kesimler olarak öne çıkmaktadır. Örneğin, İstasyon 5'te ölçülen %47'lik alterasyon oranı, andezit–tüf kayaçlarının belirgin şekilde ayrıştığını ve erozyona karşı zayıf bir duruma geldiğini göstermektedir. Benzer

Tablo 12. Ardıçtepe Barajı Havzası Ana Kayaç Gruplarına Ait İstasyonların Yaz Dönemi Kayaç Dayanım Katsayıları ve Alterasyon Durumu

İstasyon	Anakaya	Yazın Ölçülen Sertlik (SI)	Literatür Taze Sertlik	Alterasyon İndeksi (AI)	Alterasyon (%)
1	Metakırıntılı kaya	41,66	55	0,242	24,18
2	Metakırıntılı kaya	42,33	55	0,230	23,06
3	Metakırıntılı kaya	39,83	55	0,275	27,58
4	Çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı	33	55	0,4	40
5	Andezit - tüf	31,83	60	0,470	47
6	Kireçtaşı	48	60	0,2	20
7	Çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı	39,33	55	0,285	28,48
8	Aglomera	31,16	55	0,433	43,34
9	Çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı	49	55	0,109	10,91
10	Andezit – tüf	41,33	60	0,311	31,12
11	Andezit – tüf	43	60	0,283	28,33
12	Andezit – tüf	46,66	60	0,222	22,23
13	Andezit – tüf	43,83	60	0,270	27
14	Andezit – tüf	58,16	60	0,030	3,07
15	Andezit – tüf	45	60	0,250	25
16	Kumtaşı, çamurtaşı, kireçtaşı	34	55	0,382	38,18
17	Granodiyorit	51,86	65	0,202	20,21

Not: Alterasyon değerleri, literatürde bildirilen maksimum sertlik değerleri (taze durum) referans alınarak hesaplanmıştır.

Kaynak: Orijinal

şekilde İstasyon 4 (%40) ve İstasyon 8 (%43) de yüksek alterasyon değerleri ile dikkat çekmektedir. Bu istasyonların bulunduğu bölgeler, baraj havzasında aktif aşınma riski taşıyan alanlar olup, sediman taşınımının önemli kaynakları arasında değerlendirilmektedir (Tablo 12).

AI değerleri %20–40 aralığında olan istasyonlar, orta düzeyde alterasyona sahip alanları temsil etmektedir. Bu gruptaki istasyonlar, kayacın fiziksel bütünlüğünü kısmen korumasına rağmen, özellikle şiddetli yağış ve akış koşullarında erozyon süreçlerine katkıda bulunabilecek özellik taşır. Örneğin, İstasyon 7 (%28), İstasyon 10 (%31), İstasyon 16 (%38) gibi istasyonlar orta alterasyon düzeyine sahip bölgeler olarak öne çıkmaktadır. Bu alanlar, belirli dönemlerde veya lokal olarak erozyon hızının artabileceği riskli bölgeler olarak izlenmelidir (Tablo 12).

AI değerinin %20'nin altında olduğu istasyonlar, baraj havzasında taze veya alterasyonsuz kayaçları temsil etmektedir. Bu alanlarda kayaçlar nispeten sağlam durumda olup, erozyona karşı dirençlidir. Örneğin, İstasyon 6 (%20), İstasyon 17 (%20) ve güncel ölçüm sonucu ile İstasyon 9 (%10,9) düşük alterasyon oranlarıyla dikkat çekmektedir. Özellikle İstasyon 14 (%3), neredeyse taze kaya özelliğini koruyan yapısıyla, en az alterasyona uğramış ve en düşük erozyon riski taşıyan alan olarak öne çıkmaktadır. Bu istasyonların bulunduğu bölgeler, havzanın erozyon riskini minimize eden sağlam litolojik zonları işaret etmektedir (Tablo 12).

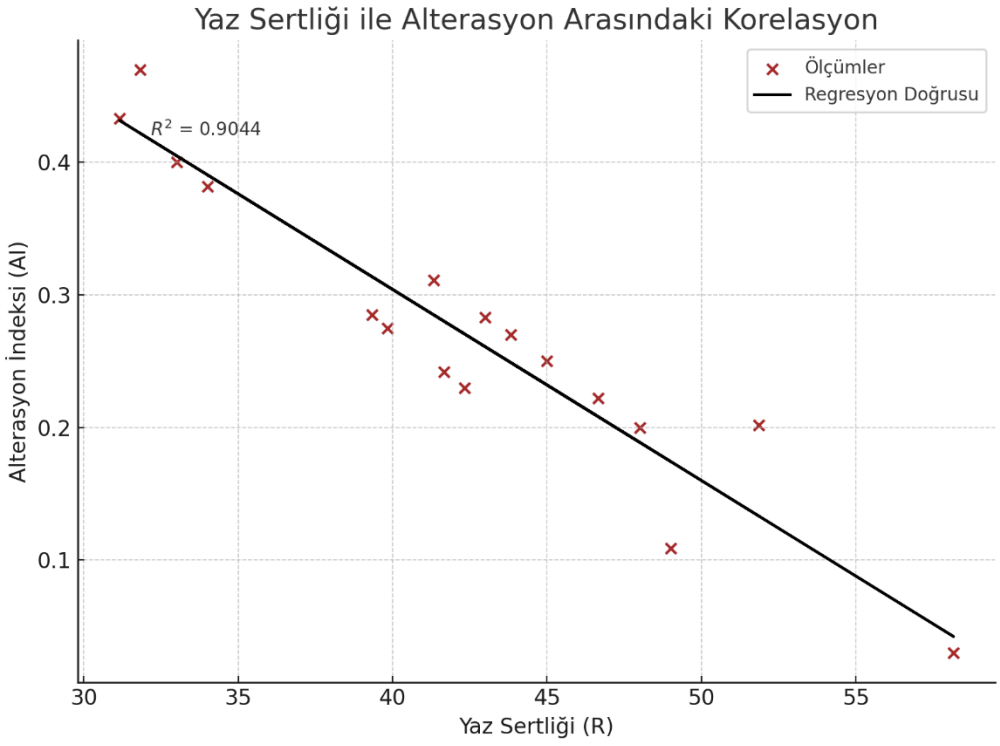
Elde edilen bulgulara göre, baraj havzasında alterasyon dereceleri önemli mekânsal farklılıklar göstermektedir. Özellikle yüksek AI değerine sahip istasyonlar, havzanın erozyon kontrol çalışmalarında öncelikli alanları olarak belirlenmeli; orta düzey alterasyona sahip alanlarda ise izleme ve koruma önlemleri planlanmalıdır. Düşük alterasyonlu alanlar ise doğal koruma bölgeleri gibi değerlendirilerek mevcut yapılarının korunması sağlanmalıdır. Bu analiz, havzadaki erozyon riski haritalamasında ve sürdürülebilir havza yönetimi stratejilerinin geliştirilmesinde önemli bir bilimsel temel sunmaktadır (Tablo 12).

Alterasyonun kayaç sertliği üzerindeki etkisini istatistiksel olarak ortaya koymak amacıyla, yaz dönemi ölçülen Schmidt sertlik değerleri ile bu değerlere karşılık gelen alterasyon indeksleri arasında bir korelasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analiz, ölçülen değişkenler arasındaki doğrusal ilişki düzeyini ifade eden determinasyon katsayısı (R^2) ve regresyon eğrisi ile desteklenmiştir. Böylelikle, kayaç

sertliği azaldıkça alterasyonun arttığına dair saha gözlemleri, sayısal olarak da desteklenmiş ve doğrulanmıştır. Elde edilen bu korelasyon hem alterasyonun ölçülebilirliğini hem de erozyon açısından taşıdığı önemi ortaya koymaktadır (Şekil 14).

Verilere doğrusal regresyon uygulanmış ve verilerin bu doğrultudaki dağılım gücü R^2 katsayısı ile belirlenmiştir. Regresyon doğrusu, veri setindeki genel eğilimi gösterirken, R^2 değeri bu doğrunun veriyi ne ölçüde temsil ettiğini ortaya koymaktadır (Şekil 14).

Şekil 14, yaz döneminde ölçülen Schmidt sertlik değerleri (R) ile bu değerlere göre hesaplanan alterasyon indeksi (AI) arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Hazırlanan grafikte yaz sertliği (R) ile alterasyon indeksi (AI) arasında belirgin bir negatif korelasyon tespit edilmiştir. Bu korelasyon, kayaçların yaz sertliği arttıkça alterasyon indeksinin düştüğünü, yani kayaçların alterasyona karşı daha dirençli hale geldiğini açıkça göstermektedir. Başka bir deyişle, taze ve daha sert kayaçların fiziksel ayrışma ve bozulmaya daha az maruz kaldığı bilimsel olarak doğrulanmıştır.



Şekil 14. Yaz Dönemi Verilerine Göre Doğrusal Korelasyon Analizi. Ölçülen Yüzey Sertliği Değerleri ile Literatürde Belirtilen Maksimum Taze Sertlik Değerleri Karşılaştırılarak AI Hesaplanmıştır. Grafik, Kayaç Sertliğinin Azalmasıyla Alterasyonun Arttığını ve Bu İlişkinin R^2 = 0,9044 Düzeyinde İstatistiksel Anlamlılık Taşıdığını Göstermektedir.

Kaynak: Orijinal

X ekseni: Yaz döneminde ölçülen Schmidt sertlik değerleri (R)

Y ekseni: Bu sertlik değerlerine göre hesaplanan alterasyon indeksi (AI)

Regresyon doğrusu: Negatif korelasyon net şekilde görülmektedir; yaz sertliği arttıkça alterasyon indeksi azalmaktadır, bu da taze ve sert kayaçların daha düşük alterasyon oranlarına sahip olduğunu göstermektedir.

Korelasyon katsayısı: (R^2) = 0,9044, yani çok güçlü bir negatif korelasyon var. Bu da yaz sertliği ile alterasyon arasında anlamlı bir ilişki olduğunu bilimsel olarak desteklemektedir.

Regresyon analizinde elde edilen korelasyon katsayısı (R^2) = 0,9044, yaz sertliği ile alterasyon indeksi arasındaki ilişkinin oldukça güçlü ve istatistiksel olarak anlamlı olduğunu ortaya koymaktadır. Bu yüksek R^2 değeri, ölçülen verilerin %90'dan fazlasının regresyon doğrusu tarafından açıklandığını göstermekte ve analiz sonuçlarına olan güvenilirliği artırmaktadır (Şekil 14).

Negatif eğilim, kayaçların sertliklerinin sahadaki alterasyon dereceleri üzerinde önemli bir kontrol mekanizması olduğunu düşündürmektedir. Özellikle andezit-tüf gibi yüksek alterasyona eğilimli kayaçlarda sertliğin düşük olması, bu kayaçların erozyon süreçlerine karşı hassasiyetini açıklamaktadır. Diğer yandan, granodiyorit ve kireçtaşı gibi yüksek sertlik değerlerine sahip kayaçlarda alterasyon indeksinin düşük olması, bu litolojilerin baraj havzasında daha stabil alanlar oluşturduğunu göstermektedir (Şekil 14).

Bu korelasyonun pratik önemi, baraj havzasındaki erozyon riski haritalamasında sertlik ölçümlerinin hızlı ve güvenilir bir alterasyon göstergesi olarak kullanılabileceğini göstermesidir. Sahada yapılacak yeni sertlik ölçümleri sayesinde alterasyon potansiyeli yüksek alanlar kolaylıkla belirlenebilir ve erozyon kontrol stratejileri bu bilgiye dayalı olarak etkin şekilde planlanabilir (Şekil 14).

Schmidt çekici ile yapılan yüzey sertlik ölçümlerine dayalı olarak kayaçlar, De Beer, 1967 (Tarhan, 2002) sınıflamasına göre "Sert Kaya" ve "Çok Sert Kaya" olarak gruplandırılmıştır. Bu sınıflama, çekicin geri darbe sayısı dikkate alınarak gerçekleştirilmiş ve kaya dayanımının dolaylı bir göstergesi olarak değerlendirilmiştir. Kayaçların sertlik sınıfı, doğrudan erozyona karşı direnç düzeyini yansıttığından, bu

veriler sahadaki erozyon potansiyelinin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Tablo 13).

Tablo 13. De Beer, 1967 (Tarhan, 2002) Temelli Schmidt Geri Darbe Sayısına Göre Kaya Sınıflaması

İstasyon	Yazın Ölçülen Sertlik (SI)	Schmidt Çekici Geri Darbe Sayısı	Kaya Sınıfı
1	41,66	45 - 30	Sert Kaya
2	42,33	45 - 30	Sert Kaya
3	39,83	45 - 30	Sert Kaya
4	33	45 - 30	Sert Kaya
5	31,83	45 - 30	Sert Kaya
6	48	60 - 45	Çok Sert Kaya
7	39,33	45 - 30	Sert Kaya
8	31,16	45 - 30	Sert Kaya
9	49	60 - 45	Çok Sert Kaya
10	41,33	45 - 30	Sert Kaya
11	43	45 - 30	Sert Kaya
12	46,66	60 - 45	Çok Sert Kaya
13	43,83	45 - 30	Sert Kaya
14	58,16	60 - 45	Çok Sert Kaya
15	45	45 - 30	Sert Kaya
16	34	45 - 30	Sert Kaya
17	51,86	60 - 45	Çok Sert Kaya

Kaynak: Orijinal

Tablodaki istasyonların çoğunluğu (%65'den fazlası) 45–30 arası darbe sayısı aralığında kalarak "Sert Kaya" sınıfında yer almıştır. Özellikle İstasyon 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 11, 13, 15 ve 16 gibi istasyonlarda sert kaya sınıfına giren litolojiler gözlenmiştir. Bu istasyonlarda sertlik ölçümleri genel olarak 30–45 aralığında seyretmiş ve bu

değerler kayacın sahada orta-yüksek dayanım gösterdiğini işaret etmektedir (Tablo 13).

İstasyon 6, 9, 12, 14 ve 17, Schmidt çekici geri darbe sayısında 60–45 aralığına denk gelerek "Çok Sert Kaya" sınıfında yer almıştır. Bu istasyonlarda ölçülen sertlik değerleri de genellikle 45'in üzerinde olup, özellikle İstasyon 14 (58,16 SI) ve İstasyon 17 (51,86 SI) gibi yüksek sertlikli ölçümler çok sert kaya karakterini desteklemiştir. Bu bölgelerde kayaçların alterasyona ve erozyona karşı oldukça dirençli olması beklenmektedir (Tablo 13).

Kaya sınıflaması, baraj havzası genelinde kayaçların mekânsal direnç dağılımını ortaya koymaktadır. Sert kaya sınıfındaki bölgeler orta düzey erozyon riski taşırken, çok sert kaya sınıfındaki istasyonlar daha stabil bölgeler olarak değerlendirilebilir. Öte yandan sertliği düşük ve sert kaya sınıfına dahil istasyonlar, alterasyon analizlerinde yüksek AI değerleriyle paralel olarak erozyon riski yüksek alanlara işaret etmektedir (Tablo 13).

Sonuç olarak, De Beer, 1967 (Tarhan, 2002) sınıflaması kullanılarak yapılan bu değerlendirme, çalışma sahasındaki kayaçların fiziksel dayanımıyla erozyon hassasiyeti arasında güçlü bir ilişki olduğunu ortaya koymaktadır. Elde edilen sınıflandırma, hem mühendislik projeleri açısından zemin değerlendirmesi yaparken, hem de erozyon kontrolü ve toprak koruma önlemleri planlanırken dikkate alınması gereken önemli bir veridir (Tablo 13).

Schmidt Sertlik İndeksi (SI), kayaçların saha koşullarındaki fiziksel dayanım durumunu belirlemede yaygın olarak kullanılan pratik bir yöntemdir. Selby (1993) tarafından önerilen ayrışma derecelendirmesi, çalışma sahasındaki kayaçların sertlik değerlerine göre üç temel kategoriye ayrılmasını sağlamaktadır: "Taze" (>50 SI), "Hafif Ayrışmış" (35–50 SI) ve "Orta Derecede Ayrışmış" (20–35 SI). Bu sınıflandırma, ölçülen Schmidt değerlerinin yorumlanmasını kolaylaştırmakta ve alterasyon analizlerine standart bir çerçeve sunmaktadır (Tablo 14).

Tablo 14'de, 17 istasyonun yaz sertlik değerlerine göre "SI Aralığı", "Ayrışma Derecesi" ve "Tanım" sütunları üzerinden kayaçların fiziksel ayrışma düzeyleri değerlendirilmiştir. Bu sınıflama, saha gözlemleriyle birlikte kayaçların dayanım özelliklerinin yorumlanması açısından oldukça önemli bir temel sunmaktadır.

Tabloda 4 istasyon (4, 5, 8 ve 16) Derece 3 olarak sınıflandırılmıştır ve bu istasyonlardaki yaz sertlik değerleri 20–35 aralığındadır. Bu aralık, kayaçların fiziksel bütünlüğünü önemli ölçüde yitirdiğini ve ayrışmanın ilerlemiş olduğunu göstermektedir. Saha gözlemleriyle birlikte değerlendirildiğinde, bu tür kayaçlarda mikro çatlak yoğunluğu artmış, bloklar arası bağ zayıflamış ve ayrışma sonucu yüzeyde parçalanmalar başlamıştır.

Tablo 14. Selby (1993)'e Göre Schmidt İndeks ile Alterasyon (Ayrışma) Derecelerinin Sınıflandırılması

İstasyon	Yazın Ölçülen Sertlik (SI)	SI Aralığı	Ayrışma Derecesi	Tanım
1	41,66	35 – 50	Derece 2	Hafif ayrışmış
2	42,33	35 – 50	Derece 2	Hafif ayrışmış
3	39,83	35 – 50	Derece 2	Hafif ayrışmış
4	33	20 - 35	Derece 3	Orta derecede ayrışmış
5	31,83	20 - 35	Derece 3	Orta derecede ayrışmış
6	48	35 – 50	Derece 2	Hafif ayrışmış
7	39,33	35 – 50	Derece 2	Hafif ayrışmış
8	31,16	20 - 35	Derece 3	Orta derecede ayrışmış
9	49	35 – 50	Derece 2	Hafif ayrışmış
10	41,33	35 – 50	Derece 2	Hafif ayrışmış
11	43	35 – 50	Derece 2	Hafif ayrışmış
12	46,66	35 – 50	Derece 2	Hafif ayrışmış
13	43,83	35 – 50	Derece 2	Hafif ayrışmış
14	58,16	> 50	Derece 1	Taze
15	45	35 – 50	Derece 2	Hafif ayrışmış
16	34	20 - 35	Derece 3	Orta derecede ayrışmış
17	51,86	> 50	Derece 1	Taze

Kaynak: Orijinal

Erozyon açısından bu istasyonlar, havzanın en yüksek risk taşıyan bölgeleri arasında yer alır. Çünkü ayrışmış kayaçlar, yüzey akışına ve infiltrasyona karşı daha geçirgen hale gelirken, aynı zamanda kohezyon kaybı nedeniyle mekanik olarak da zayıflamıştır. Bu durum, yağışlı dönemlerde yüzey malzemesinin kolayca koparılıp taşınmasına, mikro ölçekli toprak kaymalarına ve sediment üretiminin artmasına neden olabilmektedir. Bu alanlarda alınacak önlemler hem yüzey stabilitesini sağlamak hem de baraj rezervuarına taşınacak sediman yükünü azaltmak açısından kritiktir (Tablo 14).

İstasyonların çoğunluğu (1, 2, 3, 6, 7, 10, 11, 12, 13, 15) Derece 2 sınıfına girmektedir ve bu istasyonlardaki SI değerleri 35–50 aralığındadır. Bu değerler, kayaçların henüz taze yapılarını büyük oranda koruduğunu; ancak yüzeyde çatlak oluşumu, zayıf zon gelişimi ve başlangıç düzeyinde ayrışma görüldüğünü işaret etmektedir. Saha gözlemleriyle birlikte değerlendirildiğinde, bu kayaçlar hafif ayrışmış, ancak yer yer mekanik kırılganlık göstermeye başlamış zonlar olarak tanımlanabilmektedir.

Erozyon açısından bu alanlar, orta düzey risk taşıyan bölgeler arasında yer almaktadır. Kayaçlar henüz büyük oranda sağlam olsa da eğimli yamaçlarda yağışla birlikte gelişen yüzey akışları ve rüzgâr etkisiyle sığ yüzey erozyonları görülebilir. Ayrıca hafif ayrışma, zamanla ilerleyerek daha yüksek ayrışma derecelerine dönüşebileceğinden, bu bölgeler izlenmesi ve korunması gereken geçiş zonları niteliği taşımaktadır. Özellikle baraj çevresindeki bu tür kayaçlar, gelecekte sediment üretim potansiyeli taşıyan alanlar arasında yer almaktadır (Tablo 14).

İki istasyon (14 ve 17) Derece 1 (Taze) olarak sınıflandırılmış olup, yaz sertlik değerleri 50'nin üzerindedir. Bu değerler, kayaçların fiziksel bütünlüklerini büyük ölçüde koruduğunu ve erozyona karşı yüksek direnç sergilediğini göstermektedir. Mekanik özellikleri bozulmamış bu taze kayaçlar, yüzeyde çatlak gelişimi, ayrışma veya parçalara ayrılma gibi süreçlere açık değildir. Dolayısıyla bu istasyonlar, baraj havzası ölçeğinde en düşük erozyon riskine sahip alanlar olarak değerlendirilebilir. Bu bölgelerde malzeme kaybı, topografik aşınma ya da sediman üretimi minimum düzeyde olacağından, havza yönetimi açısından doğal koruma zonları olarak ele alınmaları önerilir. Ayrıca bu sağlam litolojiler, yamaç stabilitesinin korunması ve yüzey akışının sınırlandırılması açısından da jeomorfolojik tampon bölgeler niteliği taşır (Tablo 14).

Tablodaki ayrışma derecelerinin istasyonlara göre dağılımı, sahada yerel değişkenliğin yüksek olduğunu göstermektedir. Aynı litoloji grubuna ait olsalar bile farklı mikroyapısal koşullar, çatlak yoğunluğu veya alterasyon geçmişi nedeniyle istasyonlar arasında belirgin farklılıklar görülmektedir. Bu durum, sahaya özgü erozyon özelliklerinin önemini bir kez daha vurgulamaktadır (Tablo 14).

Selby (1993) temelli sınıflandırmaya göre yapılan bu analiz, baraj havzasında kayaçların ayrışma durumlarının detaylı ve sınıflanabilir olduğunu göstermektedir. Özellikle "Derece 3" grubuna giren istasyonların mühendislik uygulamalarında öncelikli değerlendirilmesi gerekirken, "Derece 1" sınıfı taze kayaç bölgeleri doğal istikrar açısından avantajlı zonlardır. Bu değerlendirme, erozyon modellemesi açısından güçlü bir altyapı sunmaktadır (Tablo 14).

Bu çalışmada, kayaçların yaz dönemine ait Schmidt Sertlik İndeksi (SI) değerleri ISRM (2007) kriterlerine göre de sınıflandırılmış ve gözlemsel saha verileriyle birlikte alterasyon düzeyleri belirlenmiştir. Alterasyon derecelerinin yüzey özellikleriyle birlikte değerlendirilmesi, bölgedeki litolojik birimlerin erozyon hassasiyeti açısından anlamlı ipuçları sunmaktadır (Tablo 15).

Tablo 15'de, 11 istasyon (1, 2, 3, 6, 7, 10, 11, 12, 13, 15) ISRM (2007) sınıflamasına göre "Az alterasyonlu" olarak tanımlanmıştır. Bu istasyonlarda Schmidt darbe sayıları genellikle 35–50 aralığında olup, yaz sertlik değerleri de çoğunlukla orta seviyelerdedir. Gözlemsel olarak bu kayalarda genellikle hafif renk değişimi ve kılcal çatlaklar gözlenmiştir. Erozyon açısından bu tür kayaçlar, yüzey stabilitesini büyük ölçüde koruyan ancak kısmi zayıflık işaretleri taşıyan alanları temsil etmektedir. Hafif ayrışmanın başladığı bu zonlar, topoğrafik eğimin yüksek olduğu alanlarda sığ yüzey erozyonu, blok düşmesi veya çatlaklardan ilerleyen mikro ayrılmalar gibi riskler barındırabilir. Özellikle uzun süreli yüzey akışı ya da bitki örtüsü kaybı gibi çevresel baskılar altında bu kayalar daha hızlı ayrışmaya geçebilir. Bu nedenle az alterasyonlu kayaçlar, orta düzey izleme gerektiren geçiş zonları olarak değerlendirilmelidir.

İstasyon 4, 5, 8 ve 16, orta alterasyonlu olarak sınıflandırılmış ve Schmidt darbe sayıları 20–35 aralığında ölçülmüştür. Gözlemsel olarak bu kayalarda renk değişimi, çürüme başlangıcı ve gözle görülür ayrışma belirtileri tespit edilmiştir. Bu kayaçlar, erozyon açısından yüksek risk taşıyan litolojiler olarak değerlendirilmelidir. Fiziksel dayanımın zayıfladığı, kohezyonun azaldığı ve yüzeyde gevşek malzeme

oluşumunun başladığı bu alanlar, baraj havzasında aktif sediman üretim zonları olabilir. Yağışlı dönemlerde bu bölgelerden yoğun malzeme taşınımı, yüzey akışıyla birlikte toprak/sediman kaybı ve küçük ölçekli heyelan riski gibi jeomorfolojik süreçler beklenebilir. Bu alanlarda erozyon kontrol önlemleri (bitkilendirme, drenaj kontrolü, yüzey koruma uygulamaları) planlanmalıdır (Tablo 15).

Tablo 15. ISRM (2007)'e Göre Schmidt İndeks ile Alterasyon (Ayrışma) Derecelerinin Sınıflandırılması

İstasyon	Yazın Ölçülen Sertlik (SI)	Schmidt Değeri (R)	Alterasyon Derecesi	Gözlemsel Özellik
1	41,66	35 – 50	Az alterasyonlu	Hafif renk değişimi, kılcal çatlak
2	42,33	35 – 50	Az alterasyonlu	Hafif renk değişimi, kılcal çatlak
3	39,83	35 – 50	Az alterasyonlu	Hafif renk değişimi, kılcal çatlak
4	33	20 - 35	Orta alterasyonlu	Renk değişimi, çürüme başlangıcı
5	31,83	20 - 35	Orta alterasyonlu	Renk değişimi, çürüme başlangıcı
6	48	35 – 50	Az alterasyonlu	Hafif renk değişimi, kılcal çatlak
7	39,33	35 – 50	Az alterasyonlu	Hafif renk değişimi, kılcal çatlak
8	31,16	20 - 35	Orta alterasyonlu	Renk değişimi, çürüme başlangıcı
9	49	35 – 50	Az alterasyonlu	Hafif renk değişimi, kılcal çatlak
10	41,33	35 – 50	Az alterasyonlu	Hafif renk değişimi, kılcal çatlak

Tablo 15 - devamı

11	43	35 – 50	Az alterasyonlu	Hafif renk değişimi, kılcal çatlak
12	46,66	35 – 50	Az alterasyonlu	Hafif renk değişimi, kılcal çatlak
13	43,83	35 – 50	Az alterasyonlu	Hafif renk değişimi, kılcal çatlak
14	58,16	> 50	Çok taze	Sert, parlak, kırık yüzey
15	45	35 – 50	Az alterasyonlu	Hafif renk değişimi, kılcal çatlak
16	34	20 - 35	Orta alterasyonlu	Renk değişimi, çürüme başlangıcı
17	51,86	> 50	Çok taze	Sert, parlak, kırık yüzey

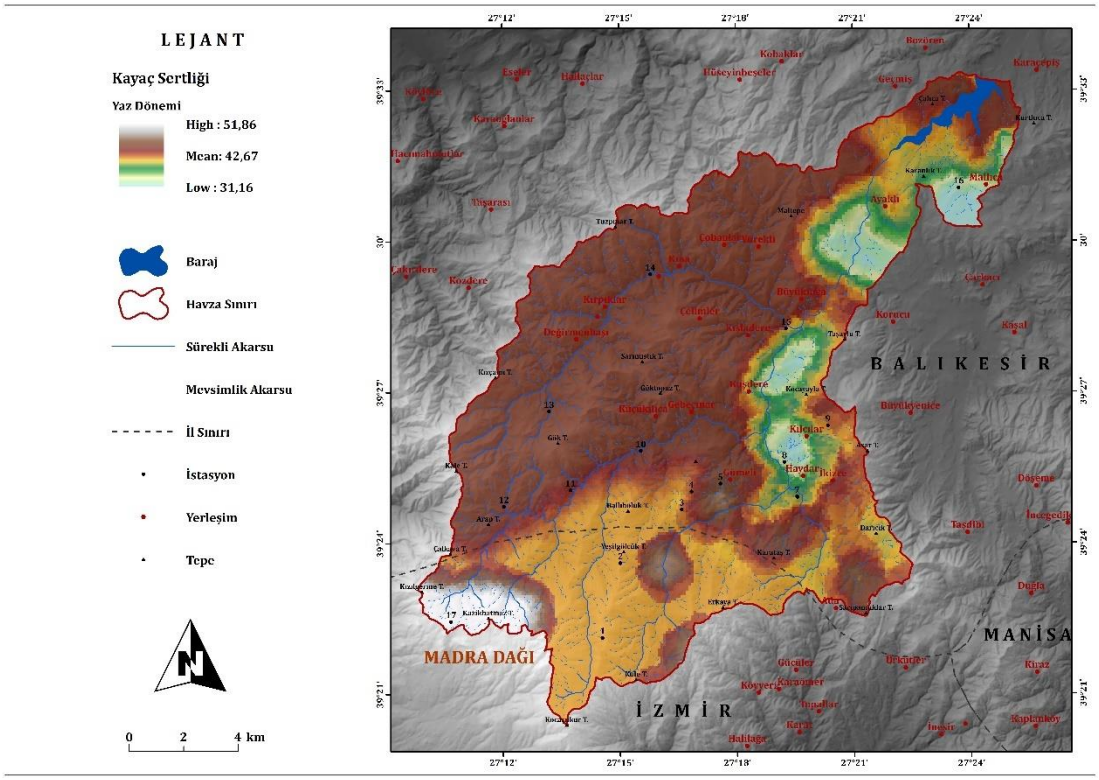
Kaynak: Orijinal

İstasyon 14 ve 17, çok taze kayaç sınıfında yer almakta ve Schmidt değeri >50 olarak ölçülmüştür. Gözlemsel olarak bu kayaçlar sert, parlak ve kırıklı yüzey özellikleri göstermekte; alterasyon izleri taşımamaktadır. Erozyon açısından bu bölgeler, en stabil ve düşük riskli alanlardır. Fiziksel ayrışma ve malzeme çözülmesi görülmediği için sediman üretimi neredeyse yoktur. Yüksek sertlikleri sayesinde yüzey akışına karşı dirençlidirler ve doğal set oluşturma potansiyeline sahiptirler. Bu kayaçlar, baraj çevresinde erozyona karşı doğal tampon zonlar olarak değerlendirilebilir (Tablo 15).

ISRM (2007) sınıflamasına göre yapılan bu değerlendirme, kayaçların alterasyon derecelerine dayalı olarak erozyon potansiyelinin mekânsal dağılımını başarıyla ortaya koymaktadır. Orta alterasyonlu bölgeler yüksek öncelikli müdahale alanları olarak öne çıkarken, az alterasyonlu zonlar da dikkatle izlenmelidir. Çok taze

kayaç alanları ise doğal dayanım açısından güvenli bölgeler olup, mühendislik uygulamalarında temel destek zonları olarak değerlendirilebilir (Tablo 15).

Çalışma alanında gerçekleştirilen Schmidt çekici ölçümlerine dayalı olarak hazırlanan kayaç sertliği haritası, MPSIAC yöntemi kapsamında anakaya faktörünün mekânsal analizine önemli katkı sağlamaktadır. Yaz mevsiminde gerçekleştirilen ölçümlere göre, sertlik değerleri kriging interpolasyonu ile modellenmiş ve havza geneline yayılmıştır (Şekil 15).



Şekil 15. Ardıçtepe Barajı Havzası Yaz Dönemi Kayaç Sertliği Haritası

Kaynak: Orijinal

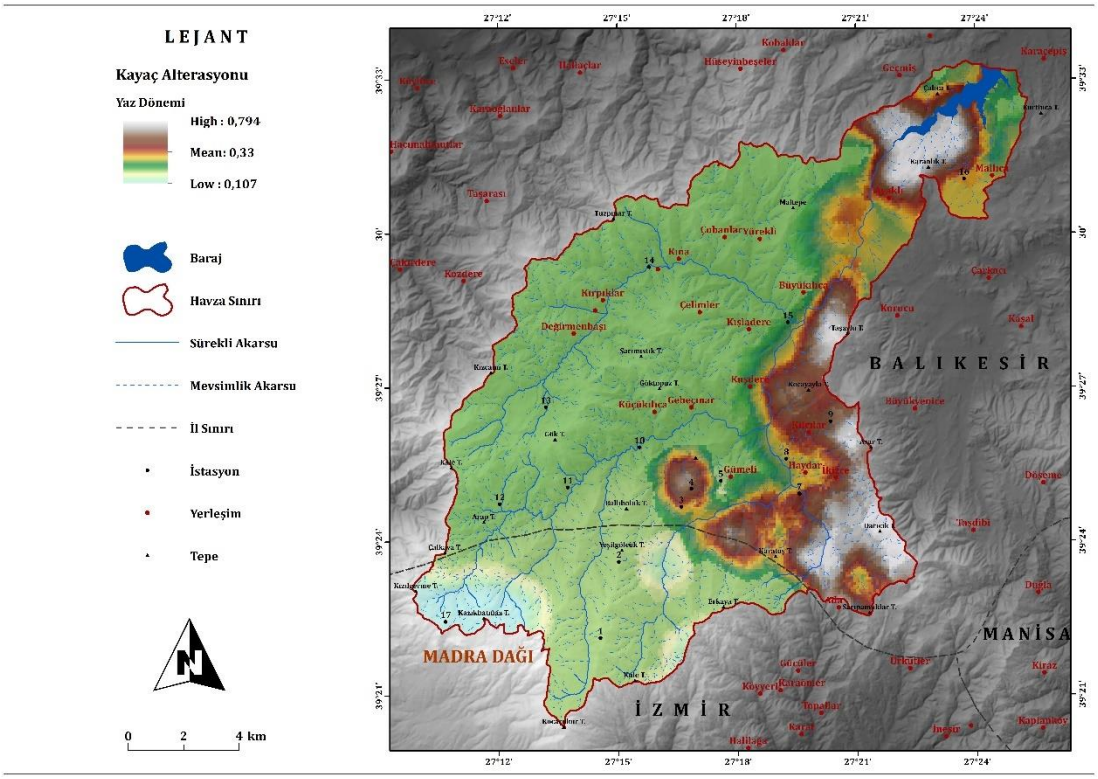
Çalışma alanının güneybatısından (Madra Dağı çevresi) kuzeydoğuya doğru sertlik değerlerinin değiştiği, batı ve güneyde yüksek sertlikli (51,86 SI'ye kadar) alanların, doğu ve kuzeydoğuda ise düşük sertlikli (31,16 SI'ye kadar) alanların yoğunlaştığı görülmektedir. Özellikle ortadaki yeşil-turkuaz renkli alan, havzanın düşük-orta sertlikli kayaçlara sahip olduğunu işaret etmektedir. Bu yumuşak geçişli bölgeler, alterasyona daha açık, fiziksel çözülmeye yatkın kayaçlardan oluşmaktadır. Kriging haritasındaki bu düşük sertlikli kuşak, doğu ve kuzeydoğu yönünde uzanmakta ve büyük oranda orta-alterasyonlu istasyonları içermektedir. Bu alanlar, yüksek erozyon riski taşıyan zonlar olarak öne çıkmaktadır.

Jeolojik birimlerle sertlik dağılımı birlikte değerlendirildiğinde: Madra Dağı çevresi (güneybatı): Permo-Triyas yaşlı metakumtaşı–metaçakıltaşı–metapelit birimleri yaygındır. Bu birimler, literatürde orta alterasyon potansiyeli taşır. Ancak burada yer alan kayaçlar yüksek sertlik gösterdiği için fiziksel olarak daha dirençlidir (örneğin istasyon 17 ve 14). Kuzey ve doğu havza kenarları: Kuvaterner alüvyonlar ve tüf–kumtaşı–çamurtaşı birimleri hâkimdir. Bu birimler düşük dayanımlı ve alterasyona açık litolojilerdir. Bu nedenle bu bölgelerdeki düşük sertlikler hem litolojik zayıflığı hem de yüksek ayrışmayı yansıtır. Orta bölüm (İkizce, Haydar, ve Gümeli yerleşim birimlerinin çevresi): Alt-Orta Miyosen kumtaşı–çamurtaşı–kireçtaşı geçişli birimler bulunmaktadır. Haritada bu kesim turuncu–yeşil geçişli, yani orta-yumuşak kayaçları temsil etmektedir. Bu, jeolojik birim ile sertlik verisinin birbirini desteklediğini göstermektedir.

Kriging yöntemiyle oluşturulan sertlik haritası, jeolojik birimlerle birlikte incelendiğinde, havzanın erozyon açısından alansal duyarlılığını net biçimde ortaya koymaktadır. Özellikle doğu ve kuzeydoğu kesimler hem düşük sertlik hem de zayıf litolojik yapı nedeniyle yüksek öncelikli müdahale alanlarıdır (Şekil 15).

Erozyon açısından değerlendirme: İstasyon 4, 5, 8 ve 16 çevresi; düşük sertlik (SI < 35) ve jeolojik olarak da alterasyona açık birimlerdir. Bu bölgeler aktif erozyon zonları olarak dikkat çekmektedir. İkizce, Haydar ve Gümeli yerleşim birimlerinin çevresi, düşük/orta sertlikli litolojilerle örtüşen bir bölgedir. Bu bölge hem yüzey akışı hem de topoğrafik eğim etkisiyle yüksek sediman taşınım riski taşımaktadır. İstasyon 1, 2, 3, 6, 7, 10, 11, 12, 13, 15 gibi orta sertlikli bölgeler, hafif ayrışmaya uğramış olsalar da uzun vadede gözlemlenmelidir. İstasyon 14 ve 17 çevresi ise yüksek SI değerlerine (örneğin 58,16) sahip olmakla birlikte, jeolojik olarak da taze granodiyorit, andezit-tüf veya mermer gibi dayanıklı kayaçlara denk gelmektedir (Şekil 15).

Yaz dönemine ait kayaç alterasyon haritası (Şekil 16), istasyonlardan elde edilen alterasyon indeks (AI) değerlerinin kriging interpolasyonu yöntemiyle alana yayılması sonucu oluşturulmuştur. Haritada AI değerleri 0,107 ile 0,794 arasında değişmekte olup, düşük değerler taze ve sağlam kayaçları, yüksek değerler ise yoğun fiziksel ayrışma ve bozulma göstermiş kayaçları ifade etmektedir. Bu harita, yüzeydeki kayaçların erozyona ne derece duyarlı olduğunu yansıtan güçlü bir veri katmanıdır.



Şekil 16. Ardıçtepe Baraj Havzası'nın Yaz Dönemi Kayaç Alterasyon Haritası

Kaynak: Orijinal

Haritada özellikle beyaz, kırmızı ve kahverengi tonlarla gösterilen bölgeler, AI değeri 0,5'in üzerinde olan ve yoğun alterasyonun gözlendiği alanlardır. Bu alanlar çoğunlukla: Gümeli, Haydar ve İkizce çevresi, istasyon 4, 5, 8 ve 16'nın çevresi ve Madra Dağı'nın doğu yamaçları gibi jeomorfolojik olarak da eğimli ve litolojik olarak alterasyona yatkın birimlerin yer aldığı kesimlerde yoğunlaşmaktadır (Şekil 16). Bu bölgelerde kayaçlar fiziksel dayanımını büyük ölçüde yitirmiştir. Sonuç olarak bu alanlarda sediment üretimi yüksektir, yüzey malzemesi kolayca parçalanmaktadır ve yağışlı dönemlerde yüzey akışıyla taşınmaktadır. Aynı zamanda yüzey erozyonu, kütle hareketleri başlangıcı ve toprak kaymaları gibi süreçlerin gelişmesi için jeoteknik zemin hazır durumdadır. Bu alanlar, öncelikli erozyon kontrol bölgeleri olarak değerlendirilmelidir.

Çalışma alanında orta alterasyonlu bölgeleri temsil eden alanlar; AI değeri yaklaşık 0,3–0,5 olan alanlardır. Bu kesimlerde alterasyon başlamış ancak henüz ileri seviyeye ulaşmamıştır. Özellikle: istasyon 1, 2, 3, 6, 7, 10, 11, 12, 13 ve 15'in çevresinde ve kuzeybatıda gözlenen bu alanlar, orta düzey erozyon riski taşımaktadır. Fiziksel olarak kayaç yapısında bozulma başlamış, mikro çatlaklar ve ayrışma zonları

oluşmuştur. Eğimin artması, bitki örtüsünün azalması veya yüzey akışının yoğunlaşması gibi dışsal etmenlerle bu bölgelerde erozyon süreci hız kazanabilir. Bu nedenle bu alanlar takip edilmesi ve müdahale planlamasına dâhil edilmesi gereken geçiş zonlarıdır (Şekil 16).

Haritada (Şekil 16) açık yeşil ve mavi tonlarla temsil edilen ve AI değeri 0,1–0,2 aralığında kalan alanlar, taze ve az alterasyona uğramış kayaçlardan oluşmaktadır. Bu bölgelerde; istasyon 14 ve 17 çevresindeki granodiyorit, mermer gibi sağlam litolojiler yer almaktadır ve genellikle batı ve güneybatı kesimler (Madra Dağı yamaçları) bu sınıfa girmektedir. Bu alanlar, fiziksel olarak sağlam oldukları için erozyon gelişimine karşı dirençlidir. Yüzey akışına ve çözücü etkilere karşı dayanıklı bu bölgeler, baraj havzası açısından doğal tampon ve koruma zonları olarak değerlendirilmelidir. Bu tür alanlarda özel bir müdahaleye gerek duyulmaz, ancak stabilitelerinin korunması teşvik edilmelidir.

Yaz dönemi alterasyon haritası (Şekil 16), havzanın erozyon riski potansiyelini mekânsal olarak belirlemekte son derece etkilidir. Yüksek AI değerine sahip bölgeler erozyon açısından kritik müdahale alanları olarak öne çıkmakta; orta alterasyonlu alanlar izlenmesi gereken geçiş kuşaklarını oluşturmakta; düşük alterasyonlu alanlar ise havza içinde jeomorfolojik olarak istikrarlı bölgeleri temsil etmektedir. Bu bilgiler ışığında, havzada alınacak erozyon kontrol önlemleri bu mekânsal dağılıma göre önceliklendirilmelidir.

4.1.1.1.3.2. Kış Dönemi Sertlik ve Günlenme (Alterasyon) Durumu

Kış dönemi Schmidt çekici ölçümlerine göre hesaplanan oransal ve yüzdesel alterasyon değerleri (Tablo 16), Ardıçtepe Barajı Havzası'nda anakaya birimlerinin ayrışma derecelerinin litolojik özelliklere bağlı olarak önemli farklılıklar gösterdiğini ortaya koymaktadır. Genel olarak değerlendirildiğinde, volkanik kökenli kayaçların sedimenter ve plutonik kayaçlara göre daha yüksek alterasyon değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Özellikle andezit–tüf ve aglomera birimlerinde ölçülen düşük sertlik değerleri, bu kayaçların suya karşı daha duyarlı yapıda olduğunu ve fiziksel-kimyasal ayrışmanın daha yoğun gerçekleştiğini göstermektedir. Buna karşılık granodiyorit ve bazı kompakt sedimenter seviyelerde alterasyonun daha düşük olduğu görülmektedir.

Metakırıntılı kayaçların bulunduğu 1, 2 ve 3 numaralı istasyonlarda oransal alterasyon indeksleri 0,309–0,440 arasında değişmektedir. Bu değerler yüzdesel olarak yaklaşık %31–44 aralığına karşılık gelmektedir. Söz konusu sonuçlar, metakırıntılı kayaçların orta derecede alterasyona uğradığını göstermektedir. Özellikle 2 ve 3 numaralı istasyonlarda alterasyon oranlarının daha yüksek olması, kayaç içerisindeki çatlak yoğunluğu, süreksizlikler ve yüzeysel ayrışmanın etkili olduğunu düşündürmektedir. Bu durum, erozyon açısından değerlendirildiğinde yüzey malzemesinin parçalanmaya daha yatkın hale geldiğini göstermektedir.

Çakıltaşı–kumtaşı–çamurtaşı ardalanmasından oluşan sedimenter birimlerde alterasyon değerleri farklılık göstermektedir. 4 numaralı istasyonda alterasyon oranı %52,18 ile oldukça yüksek çıkarken, 9 numaralı istasyonda bu değer %11,27 olarak belirlenmiştir. Aynı litoloji içerisinde görülen bu farklılık, kayaçların çimentolanma derecesi, çatlaklı yapı, nem durumu ve yüzeysel ayrışma seviyelerinin değişken olmasından kaynaklanmaktadır. Özellikle 9 numaralı istasyonda ölçülen düşük alterasyon değeri, daha kompakt ve dayanımlı bir kaya yüzeyinden ölçüm alındığını göstermektedir. Buna karşın 4 numaralı istasyonda kayaçların daha gevşek yapıda olduğu ve ayrışmanın ileri seviyeye ulaştığı anlaşılmaktadır.

Volkanik kayaç grubunda yer alan andezit–tüf birimleri, havzadaki en yüksek alterasyon değerlerini veren litolojilerden biri olmuştur. 5, 10, 11, 12, 13 ve 15 numaralı istasyonlarda yüzdesel alterasyon değerleri yaklaşık %36 ile %65 arasında değişmektedir. Özellikle 5 numaralı istasyonda belirlenen %65 alterasyon değeri oldukça dikkat çekicidir. Tüf içerikli kayaçların gözenekli yapısı ve su tutma kapasitesinin yüksek olması, ayrışma süreçlerini hızlandırmaktadır. Bu nedenle söz konusu birimlerin erozyona karşı daha hassas olduğu söylenebilir. Ancak 14 numaralı istasyonda alterasyon oranının yalnızca %15,33 olarak hesaplanması, bu noktada daha masif ve dayanımlı bir andezitik seviyenin bulunduğunu göstermektedir. Bu durum aynı litoloji içerisinde bile ayrışma şiddetinin homojen olmadığını ortaya koymaktadır.

Aglomera biriminin bulunduğu 8 numaralı istasyonda alterasyon oranının %64,91 olması, bu kayaç grubunun ileri derecede ayrıştığını göstermektedir. Aglomeraların heterojen yapıda olması, iri bloklar ile ince taneli bağlayıcı malzemenin birlikte bulunması ve boşluklu dokusu, fiziksel parçalanmayı kolaylaştırmaktadır. Bu nedenle özellikle eğimin yüksek olduğu alanlarda yüzey akışıyla birlikte malzeme taşınımının hızlanabileceği düşünülmektedir.

Kireçtaşı biriminde ölçülen %39,17 alterasyon değeri orta düzeyde bir ayrışmaya işaret etmektedir. Kireçtaşları genel olarak dayanımlı kayaçlar arasında yer almakla birlikte, çatlak sistemleri boyunca suyun etkisiyle çözünme süreçlerine maruz kalabilmektedir. Havzada gözlenen değerler de bu durumu desteklemektedir.

Granodiyorit biriminde ise alterasyon oranı %24,18 olarak hesaplanmıştır. Havzadaki en düşük alterasyon değerlerinden biri olan bu sonuç, granodiyoritin masif ve dayanımlı yapısıyla uyumludur. Plütonik kayaçların kristalin dokusu ve yüksek dayanımı nedeniyle fiziksel ayrışmaya karşı daha dirençli olduğu bilinmektedir. Bu nedenle granodiyoritlerin bulunduğu alanlarda erozyonal süreçlerin diğer litolojilere göre daha yavaş geliştiği söylenebilir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, kış dönemi ölçümleri havzada nem ve düşük sıcaklık koşullarının kayaç dayanımını azalttığını ve alterasyon süreçlerini belirgin hale getirdiğini göstermektedir (Tablo 16). Özellikle volkanik ve gevşek sedimenter birimlerde yüksek alterasyon değerlerinin belirlenmesi, bu alanların erozyon açısından daha hassas zonlar olduğunu ortaya koymaktadır. Buna karşılık granodiyorit ve bazı kompakt sedimenter seviyeler daha düşük alterasyon değerleriyle havzanın nispeten dayanımlı alanlarını oluşturmaktadır.

Kış dönemi Schmidt çekici ölçümlerine göre oluşturulan regresyon doğrusu, kaya sertliği ile alterasyon indeksi arasında güçlü ve negatif yönlü bir ilişki bulunduğunu ortaya koymaktadır (Şekil 17). Regresyon analizinde elde edilen yüksek determinasyon katsayısı (R^2=0,9557), alterasyon indeksindeki değişimin yaklaşık %96'sının kaya sertliği ile açıklanabildiğini göstermektedir. Bu durum, kayaçların sertlik değerleri azaldıkça alterasyon düzeylerinin arttığını açık biçimde ortaya koymaktadır. Başka bir ifadeyle, ayrışma süreçleri ilerledikçe kayaçların Schmidt çekici geri tepme değerleri düşmekte, buna bağlı olarak alterasyon indeksi yükselmektedir.

Grafikte ölçüm noktalarının regresyon doğrusuna oldukça yakın dağılım göstermesi, elde edilen verilerin güvenilir ve tutarlı olduğunu göstermektedir. Özellikle kış döneminde kayaç yüzeylerinin daha nemli olması, çatlak sistemlerinde suyun etkisinin artması ve fiziksel ayrışmanın hızlanması nedeniyle sertlik değerlerinde düşüş gözlenmiştir. Bu durum regresyon ilişkisinin yaz dönemine kıyasla daha güçlü çıkmasına neden olmuştur. Yaz döneminde elde edilen R^2=0,9044 değerine

Tablo 16. Ardıçtepe Barajı Havzası Ana Kayaç Gruplarına Ait İstasyonların Kış Dönemi Kayaç Dayanım Katsayıları ve Alterasyon Durumu

İstasyon	Anakaya	Kışın Ölçülen Sertlik (SI)	Literatür Taze Sertlik	Alterasyon İndeksi (AI)	Alterasyon (%)
1	Metakırıntılı kaya	38	55	0,309	30,91
2	Metakırıntılı kaya	31,2	55	0,433	43,27
3	Metakırıntılı kaya	30,8	55	0,440	44,00
4	Çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı	26,3	55	0,522	52,18
5	Andezit - tüf	21	60	0,650	65,00
6	Kireçtaşı	36,5	60	0,392	39,17
7	Çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı	34	55	0,382	38,18
8	Aglomera	19,3	55	0,649	64,91
9	Çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı	48,8	55	0,113	11,27
10	Andezit – tüf	26	60	0,567	56,67
11	Andezit – tüf	28	60	0,533	53,33
12	Andezit – tüf	30,5	60	0,492	49,17
13	Andezit – tüf	24	60	0,600	60,00
14	Andezit – tüf	50,8	60	0,153	15,33
15	Andezit – tüf	38,5	60	0,358	35,83
16	Kumtaşı, çamurtaşı, kireçtaşı	30,67	55	0,442	44,24
17	Granodiyorit	49,28	65	0,242	24,18

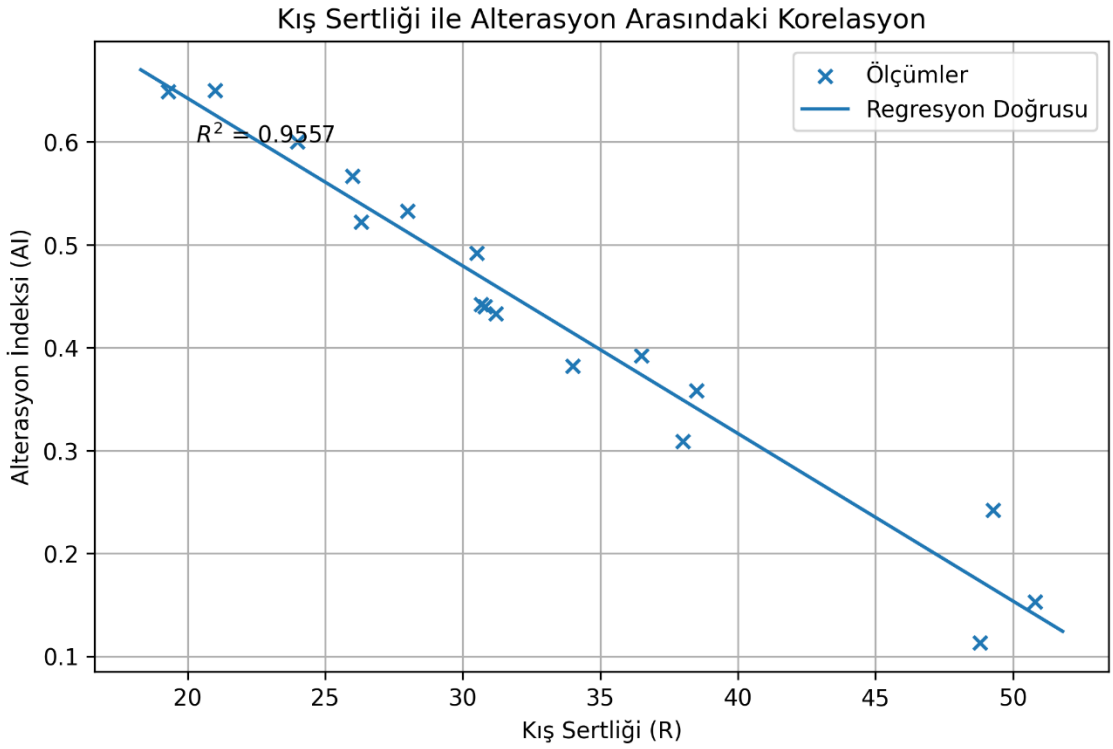
Not: Alterasyon değerleri, literatürde bildirilen maksimum sertlik değerleri (taze durum) referans alınarak hesaplanmıştır.

Kaynak: Orijinal

göre kış dönemindeki ilişkinin daha yüksek olması, nem koşullarının alterasyon süreçlerini belirgin şekilde etkilediğini göstermektedir.

Regresyon doğrusu incelendiğinde düşük sertlik değerlerine sahip kayaçların daha yüksek alterasyon indeksine sahip olduğu görülmektedir. Özellikle tüf ve aglomera gibi volkanik kayaçların bulunduğu istasyonlarda alterasyon oranlarının yükselmesi, bu kayaçların gözenekli ve suya karşı duyarlı yapılarıyla ilişkilidir. Buna karşılık granodiyorit gibi masif ve dayanımlı kayaçların daha yüksek sertlik ve daha düşük alterasyon değerleri verdiği belirlenmiştir. Bu sonuçlar, havzadaki litolojik farklılıkların alterasyon süreçleri üzerinde doğrudan etkili olduğunu göstermektedir.

Elde edilen güçlü korelasyon, Schmidt çekici ölçümlerinin kayaç alterasyonunun belirlenmesinde güvenilir bir yöntem olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca regresyon analizinin sonuçları, havzada fiziksel ayrışma süreçlerinin erozyon duyarlılığı üzerinde önemli bir kontrol mekanizması oluşturduğunu desteklemektedir. Özellikle yüksek alterasyon gösteren kayaç birimlerinin yüzey akışı ve kütle hareketlerine karşı daha hassas olduğu değerlendirilmektedir.



Şekil 17. Ardıçtepe Barajı Havzası'nda Kış Dönemi Schmidt Çekici Ölçümlerine Göre Kaya Sertliği ile Alterasyon İndeksi Arasındaki Korelasyon ve Regresyon Doğrusu

Kaynak: Orijinal

De Beer (1967) kaya sınıflamasına göre yapılan değerlendirme (Tablo 17), Ardıçtepe Barajı Havzası'nda kayaç dayanımının mevsimsel koşullara bağlı olarak değişim gösterdiğini ortaya koymaktadır. Yaz ve kış dönemi Schmidt çekici ölçümleri karşılaştırıldığında, kış döneminde kayaçların genel olarak daha düşük sertlik değerleri verdiği ve buna bağlı olarak bazı kayaçların daha düşük dayanım sınıflarına geçtiği belirlenmiştir. Bu durum, özellikle yağışlı dönemde kayaç yüzeylerinde nem oranının artması ve ayrışma süreçlerinin hızlanmasıyla ilişkilidir.

Yaz dönemi ölçümlerinde havzadaki kayaçların büyük bölümü "Sert Kaya" ve "Çok Sert Kaya" sınıfında yer almaktadır. Özellikle granodiyorit, kireçtaşı ve bazı andezit–tüf seviyelerinde Schmidt geri darbe değerlerinin 45'in üzerine çıktığı görülmektedir. Bu durum, yaz döneminde kayaç yüzeylerinin daha kuru olması nedeniyle dayanımın daha yüksek ölçülmesiyle açıklanabilir. Granodiyorit biriminin hem yaz hem de kış döneminde "Çok Sert Kaya" sınıfında yer alması, bu kayaç grubunun havzadaki en dayanımlı litolojilerden biri olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde bazı andezitik seviyelerde de yüksek dayanım korunmuştur.

Kış dönemi sonuçları incelendiğinde ise bazı istasyonlarda kaya sınıfının değiştiği görülmektedir. Özellikle andezit–tüf ve çakıltaşı–kumtaşı–çamurtaşı ardalanmasının bulunduğu alanlarda sertlik değerleri düşmüş ve "Yumuşak Kaya" hatta "Çok Yumuşak Kaya" sınıfına geçişler meydana gelmiştir. 5 numaralı istasyonda ölçülen 21 SI değeri "Çok Yumuşak Kaya" sınıfına karşılık gelirken, 8 numaralı istasyonda ölçülen 19,3 değeri "Çok Katı Toprak" sınıfında değerlendirilmiştir. Bu sonuçlar, özellikle volkanik tüfler ve gevşek sedimenter birimlerin nem etkisine karşı oldukça hassas olduğunu göstermektedir.

Yaz döneminde "Sert Kaya" olarak sınıflandırılan bazı istasyonların kış döneminde "Yumuşak Kaya" sınıfına düşmesi, kayaçların fiziksel ayrışmaya açık olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle tüf içerikli volkanik kayaçların gözenekli yapısı nedeniyle suyu daha fazla tutması, Schmidt geri tepme değerlerinin azalmasına neden olmuştur. Aynı şekilde sedimenter kayaçlarda çimentolanma derecesinin düşük olduğu seviyelerde dayanım kaybı daha belirgin hale gelmiştir. Buna karşılık granodiyorit ve bazı masif kireçtaşı seviyeleri mevsimsel koşullardan daha az etkilenmiş ve yüksek dayanım özelliklerini korumuştur.

Elde edilen sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, havzadaki kayaç dayanımının yalnızca litolojiye değil, aynı zamanda mevsimsel nem koşullarına ve alterasyon düzeyine bağlı olarak değiştiği anlaşılmaktadır. Özellikle kış döneminde dayanım kaybının arttığı alanların erozyon ve kütle hareketleri açısından daha hassas zonlar oluşturduğu söylenebilir. Bu nedenle Schmidt çekici verileri, havzadaki anakaya faktörünün erozyon süreçleri üzerindeki etkisini ortaya koyan önemli göstergelerden biri olmuştur.

Tablo 17. De Beer, 1967 (Tarhan, 2002) Temelli Schmidt Geri Darbe Sayısına Göre Kaya Sınıflaması

İstasyon	Kışın Ölçülen Sertlik (SI)	Schmidt Çekici Geri Darbe Sayısı	Kaya Sınıfı
1	38	45 - 30	Sert Kaya
2	31,2	45 - 30	Sert Kaya
3	30,8	45 - 30	Sert Kaya
4	26,3	30 - 24	Yumuşak Kaya
5	21	24 - 20	Çok Yumuşak Kaya
6	36,5	60 - 45	Çok Sert Kaya
7	34	45 - 30	Sert Kaya
8	19,3	20 - 16	Çok Katı Toprak
9	48,8	60 - 45	Çok Sert Kaya
10	26	30 - 24	Yumuşak Kaya
11	28	30 - 24	Yumuşak Kaya
12	30,5	45 - 30	Sert Kaya
13	24	30 - 24	Yumuşak Kaya
14	50,8	60 - 45	Çok Sert Kaya
15	38,5	45 - 30	Sert Kaya
16	30,67	45 - 30	Sert Kaya
17	49,28	60 - 45	Çok Sert Kaya

Kaynak: Orijinal

Selby (1993) sınıflandırmasına göre değerlendirilen kış dönemi Schmidt sertlik ölçümleri (Tablo 18), çalışma sahasındaki anakayaların ayrışma derecelerinin litolojik özelliklere ve mevsimsel koşullara bağlı olarak farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır. Elde edilen sonuçlara göre havzada "taze", "hafif ayrışmış", "orta derecede ayrışmış" ve yer yer "kuvvetli ayrışmış" kayaçların birlikte bulunduğu anlaşılmaktadır. Özellikle kış döneminde yüzey neminin artması ve kayaçların suya doygun hale gelmesi, Schmidt geri tepme değerlerini düşürerek ayrışma derecelerinin yükselmesine neden olmuştur.

Tabloda yalnızca 14 numaralı istasyonun 50,8 SI değeri ile "Derece 1 – Taze" sınıfında yer aldığı görülmektedir. Andezit–tüf birimine karşılık gelen bu istasyonun yüksek dayanım göstermesi, kayaç yüzeyinin daha kompakt yapıda olduğunu ve ayrışma süreçlerinden daha sınırlı etkilendiğini göstermektedir. Benzer şekilde 1, 6, 9, 15 ve 17 numaralı istasyonlar 35–50 SI aralığında yer alarak "Derece 2 – Hafif ayrışmış" sınıfında değerlendirilmiştir. Bu istasyonlarda ölçülen nispeten yüksek sertlik değerleri, kayaçların fiziksel dayanımını büyük ölçüde koruduğunu göstermektedir. Özellikle granodiyorit ve kireçtaşı birimlerinin yüksek dayanım göstermesi, mineralojik olarak daha dirençli olmalarıyla ilişkilendirilebilir.

Buna karşılık çalışma sahasındaki istasyonların önemli bir kısmı "Derece 3 – Orta derecede ayrışmış" sınıfında yer almaktadır. Özellikle metakırıntılı kayaçlar ile andezit–tüf birimlerinde ölçülen 20–35 SI aralığındaki değerler, kayaçların yüzeysel ayrışma süreçlerinden belirgin biçimde etkilendiğini göstermektedir. Bu durum çatlak sistemlerinin gelişmesi, suyun kaya içerisine sızması ve fiziksel parçalanmanın hızlanmasıyla açıklanabilir. Kış dönemindeki nemlilik koşulları, bu kayaçların yüzey dayanımını azaltarak Schmidt değerlerinin düşmesine neden olmuş olabilir.

Çalışma sahasında en dikkat çekici sonuç ise 8 numaralı istasyonda ölçülen 19,3 SI değeridir. Aglomeraya karşılık gelen bu istasyon Selby sınıflandırmasına göre "Derece 4 – Kuvvetli ayrışmış" sınıfında değerlendirilmiştir. Bu sonuç, aglomeraların heterojen yapısı, yüksek gözenekliliği ve zayıf bağlanmış malzeme içermesi nedeniyle ayrışmaya oldukça duyarlı olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda bu tür birimlerin erozyon süreçlerine karşı daha hassas olduğu da söylenebilir.

Yaz dönemi sonuçları ile karşılaştırıldığında, kış ölçümlerinde bazı istasyonların bir üst ayrışma derecesine geçtiği dikkat çekmektedir. Özellikle yaz

döneminde “hafif ayrışmış” olarak değerlendirilen bazı metakırıntılı ve volkanik birimler, kış döneminde “orta derecede ayrışmış” sınıfına yaklaşmıştır. Bu durum, mevsimsel nem değişimlerinin Schmidt çekici ölçümleri üzerinde doğrudan etkili olduğunu göstermektedir.

Tablo 18. Selby (1993)’e Göre Schmidt İndeks ile Alterasyon (Ayrışma) Derecelerinin Sınıflandırılması

İstasyon	Kışın Ölçülen Sertlik (SI)	SI Aralığı	Ayrışma Derecesi	Tanım
1	38	35 – 50	Derece 2	Hafif ayrışmış
2	31,2	20 – 35	Derece 3	Orta derecede ayrışmış
3	30,8	20 – 35	Derece 3	Orta derecede ayrışmış
4	26,3	20 - 35	Derece 3	Orta derecede ayrışmış
5	21	20 - 35	Derece 3	Orta derecede ayrışmış
6	36,5	35 – 50	Derece 2	Hafif ayrışmış
7	34	20 - 35	Derece 3	Orta derecede ayrışmış
8	19,3	< 20	Derece 4	Kuvvetli ayrışmış
9	48,8	35 – 50	Derece 2	Hafif ayrışmış
10	26	20 - 35	Derece 3	Orta derecede ayrışmış
11	28	20 - 35	Derece 3	Orta derecede ayrışmış
12	30,5	20 - 35	Derece 3	Orta derecede ayrışmış
13	24	20 - 35	Derece 3	Orta derecede ayrışmış
14	50,8	> 50	Derece 1	Taze
15	38,5	35 – 50	Derece 2	Hafif ayrışmış
16	30,67	20 - 35	Derece 3	Orta derecede ayrışmış
17	49,28	35 – 50	Derece 2	Hafif ayrışmış

Kaynak: Orijinal

Genel olarak Selby (1993) sınıflandırması sonuçları, çalışma sahasında ayrışma süreçlerinin aktif şekilde devam ettiğini ve özellikle volkanik–piroklastik

kayaçların ayrışmaya daha duyarlı olduğunu ortaya koymaktadır. Buna karşın granodiyorit ve bazı karbonatlı birimlerin daha dirençli karakter gösterdiği anlaşılmaktadır. Bu durum havzadaki erozyon süreçlerinin litolojik direnç farklılıklarına bağlı olarak alansal değişim gösterdiğini desteklemektedir.

ISRM (2007) sınıflandırmasına göre hazırlanan kış dönemi Schmidt sertlik ölçümleri incelendiğinde (Tablo 19), havzadaki anakayaların alterasyon derecelerinin litolojiye ve mevsimsel koşullara bağlı olarak belirgin farklılıklar gösterdiği anlaşılmaktadır. Ölçüm sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde, yaz dönemine kıyasla kış döneminde sertlik değerlerinin düştüğü ve buna bağlı olarak alterasyon derecelerinin arttığı görülmektedir. Bu durum özellikle yağışlı kış koşullarında kayaçların yüzey neminin artması, çatlak sistemlerinin su ile dolması ve yüzey dayanımının azalmasıyla ilişkilendirilebilir.

Tablo 19'da yer alan, 14 numaralı istasyonun 50,8 SI değeri ile "çok taze" sınıfında yer aldığı görülmektedir. Bu istasyonun andezit–tüf birimi üzerinde bulunması ve yüksek Schmidt değeri göstermesi, söz konusu kayaçların ayrışmaya karşı daha dirençli olduğunu ortaya koymaktadır. Benzer şekilde 9 numaralı istasyondaki çakıltaşı–kumtaşı–çamurtaşı birimi ile 17 numaralı istasyondaki granodiyorit de yüksek sertlik değerleri nedeniyle "az alterasyonlu" sınıfta değerlendirilmiştir. Özellikle granodiyoritin yüksek dayanım göstermesi, kristalin yapısı ve düşük gözenekliliği ile ilişkilendirilebilir.

Buna karşılık 8 numaralı istasyonda ölçülen 19,3 SI değeri, çalışma sahasındaki en düşük sertlik değerini oluşturmaktadır. Aglomeraya karşılık gelen bu birim ISRM sınıflandırmasına göre "ileri alterasyonlu" olarak değerlendirilmiştir. Volkanik kökenli aglomeraların heterojen yapısı, yüksek boşluk oranı ve zayıf bağlanmış bileşenler içermesi nedeniyle ayrışmaya daha duyarlı olduğu düşünülmektedir. Bu durum aynı zamanda erozyona karşı direncin düşük olduğunu da göstermektedir.

Çalışma sahasında geniş yayılım gösteren andezit–tüf birimlerinin önemli bir kısmı 20–35 SI aralığında yer almakta ve "orta alterasyonlu" sınıfta değerlendirilmektedir. Özellikle 5, 10, 11, 12 ve 13 numaralı istasyonlar bu grupta bulunmaktadır. Bu sonuçlar, tüflü seviyelerin su alma kapasitesinin yüksek olması ve fiziksel ayrışmaya açık yapıda bulunmasıyla açıklanabilir. Kış dönemindeki nemlilik

koşulları, bu kayaçların yüzey dayanımını azaltarak Schmidt geri tepme değerlerinin düşmesine neden olmuş olabilir.

Metakırıntılı kayaçların bulunduğu 1, 2 ve 3 numaralı istasyonlarda ise alterasyon derecelerinin "az alterasyonlu" ile "orta alterasyonlu" arasında değiştiği görülmektedir. Özellikle 2 ve 3 numaralı istasyonlarda sertlik değerlerinin düşmesi, tabakalanma düzlemleri boyunca gelişen ayrışma ve su etkisinin daha belirgin hale gelmesiyle ilişkilendirilebilir. Buna rağmen 1 numaralı istasyonun hâlâ "az alterasyonlu" sınıfta yer alması, aynı litoloji içerisinde bile yerel topoğrafik ve yapısal farklılıkların etkili olduğunu göstermektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, ISRM sınıflandırması havzadaki kayaçların büyük bölümünün "orta alterasyonlu" ile "az alterasyonlu" karakterde olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum çalışma sahasında ayrışmanın tamamen ileri seviyeye ulaşmadığını, ancak özellikle volkanik ve tüflü birimlerde fiziksel parçalanma süreçlerinin aktif şekilde devam ettiğini göstermektedir. Ayrıca kış döneminde ölçülen düşük Schmidt değerleri, mevsimsel nem koşullarının kaya dayanımı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu desteklemektedir.

Tablo 19. ISRM (2007)'e Göre Schmidt İndeks ile Alterasyon (Ayrışma) Derecelerinin Sınıflandırılması

İstasyon	Kışın Ölçülen Sertlik (SI)	Schmidt Değeri (R)	Alterasyon Derecesi	Gözlemsel Özellik
1	38	35 – 50	Az alterasyonlu	Hafif renk değişimi, kılcal çatlak
2	31,2	20 – 35	Orta alterasyonlu	Renk değişimi, çürüme başlangıcı
3	30,8	20 – 35	Orta alterasyonlu	Renk değişimi, çürüme başlangıcı
4	26,3	20 - 35	Orta alterasyonlu	Renk değişimi, çürüme başlangıcı
5	21	20 - 35	Orta alterasyonlu	Renk değişimi, çürüme başlangıcı

Tablo 19 - devamı

6	36,5	35 – 50	Az alterasyonlu	Hafif renk değişimi, kılcal çatlak
7	34	20 - 35	Orta alterasyonlu	Renk değişimi, çürüme başlangıcı
8	19,3	< 20	İleri alterasyonlu	Yoğun ayrışma, yüzeysel bozunma
9	48,8	35 – 50	Az alterasyonlu	Hafif renk değişimi, kılcal çatlak
10	26	20 – 35	Orta alterasyonlu	Renk değişimi, çürüme başlangıcı
11	28	20 – 35	Orta alterasyonlu	Renk değişimi, çürüme başlangıcı
12	30,5	20 – 35	Orta alterasyonlu	Renk değişimi, çürüme başlangıcı
13	24	20 – 35	Orta alterasyonlu	Renk değişimi, çürüme başlangıcı
14	50,8	> 50	Çok taze	Sert, parlak, kırık yüzey
15	38,5	35 – 50	Az alterasyonlu	Hafif renk değişimi, kılcal çatlak
16	30,67	20 - 35	Orta alterasyonlu	Renk değişimi, çürüme başlangıcı
17	49,28	35 – 50	Az alterasyonlu	Hafif renk değişimi, kılcal çatlak

Kaynak: Orijinal

Kış dönemine ait kayaç sertliği haritası incelendiğinde (Şekil 18), çalışma sahasında Schmidt sertlik değerlerinin alansal dağılışının belirgin farklılıklar gösterdiği anlaşılmaktadır. Kriging interpolasyonu sonucunda özellikle havzanın kuzeydoğu kesimlerinde ve bazı güney kesimlerinde daha yüksek sertlik değerleri öne çıkarken, orta kesimlerde ve bazı vadi tabanlarında daha düşük sertlik değerleri dikkat

çekmektedir. Haritadaki yeşil tonlar düşük sertlik değerlerini, sarı–kahverengi tonlar ise daha yüksek sertlik değerlerini temsil etmektedir. Buna göre kış döneminde havzanın önemli bir kısmında kayaç dayanımının azaldığı görülmektedir. Bu durum, kış mevsiminde artan nemlilik koşulları, yüzey ıslanması ve çatlak sistemlerine su girişinin etkisiyle açıklanabilir.

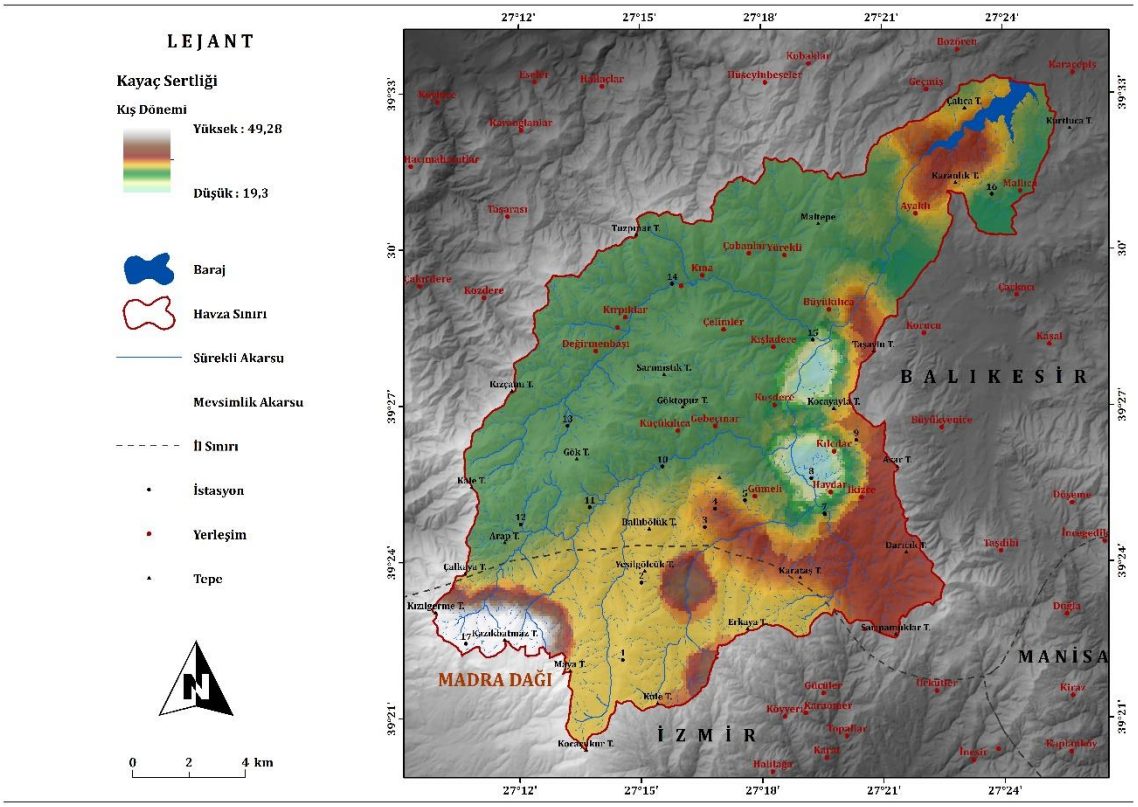
Haritada özellikle 8 numaralı istasyon çevresinde belirginleşen düşük sertlik zonu dikkat çekmektedir. Bu alanın aglomera litolojisi üzerinde bulunması ve sahadaki en düşük Schmidt sertlik değerlerinden birini vermesi, söz konusu kayaçların ayrışmaya karşı oldukça duyarlı olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde havzanın orta-doğu kesimlerinde uzanan düşük sertlik kuşağı, tüflü ve parçalanmaya müsait volkanik birimlerin yayılım gösterdiği alanlarla büyük ölçüde uyumludur. Bu bölgelerde fiziksel ayrışma süreçlerinin daha aktif olduğu ve buna bağlı olarak erozyon duyarlılığının arttığı söylenebilir.

Buna karşılık havzanın kuzeydoğusunda, özellikle 16 numaralı istasyon çevresinde ve bazı güneybatı kesimlerinde daha yüksek sertlik değerleri görülmektedir. Bu alanlarda kayaçların daha kompakt yapıda olduğu, ayrışma süreçlerinden daha sınırlı etkilendiği ve yüzey dayanımını büyük ölçüde koruduğu anlaşılmaktadır. Özellikle granodiyorit ve daha dirençli volkanik kayaçların bulunduğu alanlarda yüksek Schmidt değerleri dikkat çekmektedir. Bu durum, litolojik direncin mekânsal dağılışı kontrol eden temel faktörlerden biri olduğunu göstermektedir.

Yaz dönemi haritası ile karşılaştırıldığında, kış döneminde düşük sertlik alanlarının daha geniş bir yayılım gösterdiği görülmektedir. Yaz döneminde havzanın büyük kısmı orta ve yüksek sertlik değerleri ile temsil edilirken, kış döneminde yeşil tonların yaygınlaşması kayaç yüzey dayanımının genel olarak azaldığını ortaya koymaktadır. Özellikle vadiler boyunca uzanan düşük sertlik kuşaklarının kış haritasında daha belirgin hale gelmesi, nemlilik ve yüzey suyu etkisinin kaya dayanımı üzerinde önemli rol oynadığını göstermektedir. Buna rağmen bazı dirençli litolojik birimlerin her iki mevsimde de yüksek sertlik karakterini koruduğu anlaşılmaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, kış dönemi Schmidt sertlik dağılışı havzada ayrışma süreçlerinin özellikle volkanik ve piroklastik kayaçlar üzerinde daha etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Kriging analizi sonucunda elde edilen alansal dağılış,

litolojik farklılıklar ile topoğrafik koşulların birlikte kayaç dayanımı üzerinde belirleyici olduğunu göstermektedir. Ayrıca düşük sertlik değerlerinin yoğunlaştığı alanların potansiyel erozyon duyarlılığı açısından daha riskli bölgeler olduğu söylenebilir.



Şekil 18. Ardıçtepe Barajı Havzası Kış Dönemi Kayaç Sertliği Haritası

Kaynak: Orijinal

Kış dönemine ait kayaç alterasyonu haritası (Şekil 19), havzada alterasyonun alansal dağılışını oldukça başarılı bir şekilde ortaya koymaktadır. Haritada özellikle kahverengi tonların yoğunlaştığı alanlar yüksek alterasyon değerlerini, yeşil ve açık tonlar ise daha düşük alterasyon seviyelerini temsil etmektedir. Kış dönemi ölçümlerinde alterasyon indisinin 0,242 ile 0,649 arasında değişmesi, özellikle nemli ve suya doygun koşullarda kayaçların yüzey dayanımının önemli ölçüde azaldığını göstermektedir. Bu durum, yaz dönemine göre kışın fiziksel ayrışmanın daha belirgin hale geldiğini ortaya koymaktadır.

Haritanın dikkat çeken en önemli özelliği, yüksek alterasyon değerlerinin özellikle havzanın doğu ve kuzeydoğu kesimlerinde yoğunlaşmasıdır. Ayaklı, Mallıca ve Karanlık Tepe çevresindeki alanlarda kahverengi tonların baskın olması, bu bölgelerde yer alan kayaçların daha yoğun ayrışmaya uğradığını göstermektedir. Bu

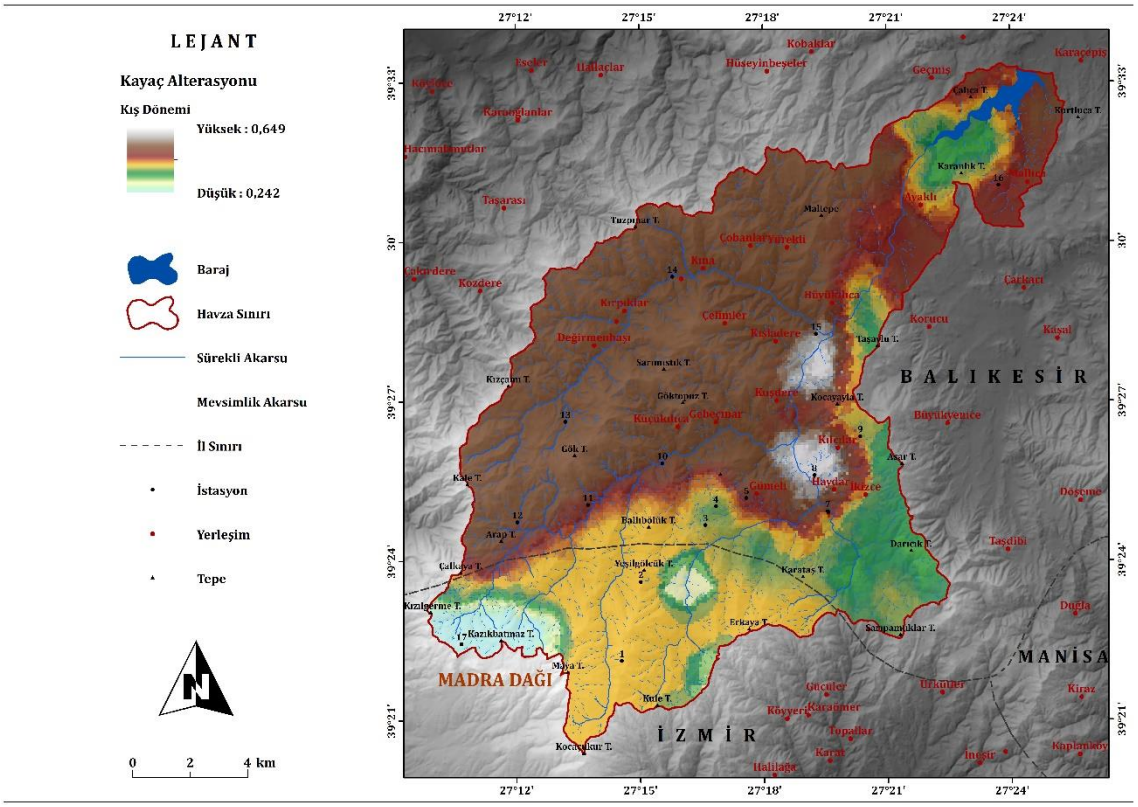
sahalarda özellikle aglomera, tüf ve zayıf çimentolu sedimanter birimlerin bulunması, kayaçların su etkisine karşı daha hassas davranmasına neden olmuş olabilir. Kış döneminde artan yağış ve nem koşulları çatlak sistemlerine su girişini artırarak fiziksel ve kimyasal alterasyonu hızlandırmaktadır. Bu nedenle söz konusu alanlar, erozyona duyarlılık açısından havzanın kritik kesimlerini oluşturmaktadır.

Havzanın orta kesimlerinde, özellikle Kışladere–Kocayayla hattında alterasyon değerlerinin yükseldiği görülmektedir. Bu durum, topoğrafik eğimin artması ve yüzey akışının yoğunlaşmasıyla ilişkilendirilebilir. Akarsu vadileri boyunca gelişen ayrışmış yüzeyler, hem yüzeysel aşınımı artırmakta hem de kayaçların mekanik dayanımını düşürmektedir. Kriging enterpolasyonunun oluşturduğu geçiş zonları da bu bölgelerde alterasyonun ani değişimler gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Buna karşılık havzanın batı ve güneybatı kesimlerinde daha düşük alterasyon değerleri görülmektedir. Özellikle Madra Dağı çevresi ile granodiyoritik birimlerin bulunduğu sahalarda yeşil ve açık tonların yaygın olması, bu kayaçların ayrışmaya karşı daha dirençli olduğunu göstermektedir. Granodiyoritlerin sert ve masif yapısı, Schmidt çekici geri tepme değerlerinin de yüksek çıkmasına neden olmuş; buna bağlı olarak alterasyon indisleri düşük kalmıştır. Bu alanlarda kayaç dayanımının yüksek olması, yüzey erozyonunun daha sınırlı gelişmesine katkı sağlamaktadır.

Yaz dönemi alterasyon haritası ile karşılaştırıldığında, kış döneminde alterasyonun daha geniş alanlara yayıldığı ve yüksek değerlerin belirgin şekilde arttığı görülmektedir. Yaz döneminde lokal olarak yoğunlaşan yüksek alterasyon sahaları, kış haritasında daha sürekli zonlar halinde izlenmektedir. Bu durum, mevsimsel nemlilik koşullarının kayaç dayanımı üzerinde doğrudan etkili olduğunu göstermektedir. Özellikle çatlaklı ve ayrışmaya yatkın kayaçlarda suyun etkisiyle dayanım kaybı hızlanmakta, böylece alterasyon derecesi artmaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, kış dönemi alterasyon haritası havzada erozyona duyarlı alanların belirlenmesi açısından oldukça önemli sonuçlar sunmaktadır. Yüksek alterasyon değerlerinin yoğunlaştığı doğu ve kuzeydoğu kesimlerinin, aynı zamanda yüzey akışı ve eğim etkisinin de güçlü olduğu alanlarla çakışması, bu bölgelerde erozyon riskinin arttığını göstermektedir. Buna karşılık granodiyoritik kayaçların yaygın olduğu güneybatı kesimleri daha dirençli bir yapı sergileyerek düşük alterasyon ve daha düşük erozyon hassasiyeti göstermektedir.



Şekil 19. Ardıçtepe Baraj Havzası'nın Kış Dönemi Kayaç Alterasyon Haritası

Kaynak: Orijinal

4.1.1.1.3.3. Sertlik ve Günlenme (Alterasyon) Durumunda Yıllık Ortalama

Kayaç dayanım katsayı tablosu incelendiğinde (Tablo 20), Ardıçtepe Baraj Havzası'nda yer alan ana kaya gruplarının Schmidt çekici sertlik değerlerinin mevsimsel koşullara bağlı olarak değişim gösterdiği anlaşılmaktadır. Genel olarak yaz döneminde ölçülen sertlik değerlerinin kış dönemine göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durum, kış mevsiminde artan nemlilik, kayaç yüzeylerinin suya doygun hale gelmesi ve çatlak sistemlerine su girişinin artmasıyla kaya dayanımının azalmasına bağlanabilir. Özellikle ayrışmaya duyarlı volkanik ve sedimanter kayaç gruplarında mevsimsel farkların daha belirgin olduğu görülmektedir.

Tablo 20'deki yıllık ortalama değerlere göre en yüksek dayanımın granodiyorit birimlerinde gözlendiği belirlenmiştir. 17 numaralı istasyonda ölçülen granodiyorit kayaçları, 50,57 SI yıllık ortalama değeri ile havzanın en dayanıklı litolojik birimini temsil etmektedir. Benzer şekilde 14 numaralı istasyonda bulunan andezit–tüf biriminde de 54,48 SI değeri ölçülmüş olup bu saha yüksek dayanım göstermektedir.

Bu alanlarda düşük alterasyon seviyeleri, masif yapı ve daha dirençli mineral bileşimi etkili olmuştur. Söz konusu birimlerin erozyona karşı daha dayanıklı olduğu düşünülmektedir.

Buna karşılık en düşük yıllık ortalama sertlik değerleri aglomera ve bazı andezit–tüf birimlerinde belirlenmiştir. Özellikle 8 numaralı istasyondaki aglomera birimi 25,23 SI değeri ile havzadaki en düşük dayanım değerlerinden birine sahiptir. Benzer şekilde 5, 10, 11 ve 13 numaralı andezit–tüf istasyonlarında da düşük dayanım değerleri dikkat çekmektedir. Bu durum, söz konusu kayaçların gözenekli yapısı, yüksek çatlak yoğunluğu ve ayrışmaya yatkın olmalarıyla ilişkilendirilebilir. Bu alanların fiziksel ayrışma ve yüzey erozyonu açısından daha hassas olduğu değerlendirilmektedir.

Mevsimsel fark sütunu incelendiğinde, bazı istasyonlarda yaz ve kış ölçümleri arasında belirgin değişimler olduğu görülmektedir. Özellikle 13 numaralı istasyonda 19,83 SI, 12 numaralı istasyonda ise 16,16 SI mevsimsel fark belirlenmiştir. Bu yüksek farklar, kayaçların su etkisine karşı duyarlılığının fazla olduğunu göstermektedir. Buna karşın 9 numaralı istasyonda mevsimsel farkın yalnızca 0,2 SI olması, bu sahadaki kayaçların çevresel koşullardan daha az etkilendiğini ve dayanımını büyük ölçüde koruduğunu ortaya koymaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, havzada yer alan granodiyorit ve bazı masif volkanik kayaçların yüksek dayanım gösterdiği; aglomera, tüf ve zayıf çimentolu sedimanter birimlerin ise mevsimsel koşullardan daha fazla etkilenerek düşük dayanım sergilediği anlaşılmaktadır. Bu durum, alterasyon süreçlerinin kayaç dayanımı üzerinde önemli rol oynadığını ve özellikle kış döneminde ayrışmanın hızlandığını göstermektedir. Elde edilen bulgular, havzada erozyon duyarlılığı yüksek alanların belirlenmesi açısından önemli sonuçlar sunmaktadır.

Tabloda yer alan yıllık alterasyon ortalamaları incelendiğinde (Tablo 21), Ardıçtepe Baraj Havzası'ndaki ana kaya gruplarının ayrışma düzeylerinin litolojik özelliklere ve mevsimsel koşullara bağlı olarak önemli farklılıklar gösterdiği anlaşılmaktadır. Yıllık ortalama alterasyon değerleri 0,092 ile 0,560 arasında değişmektedir. Bu durum, havza içerisindeki kayaçların ayrışmaya karşı dirençlerinin homojen olmadığını ve bazı birimlerin erozyon süreçlerine daha duyarlı olduğunu göstermektedir.

Tablo 20. Ardıçtepe Barajı Havzası'nda Ana Kayaç Gruplarına Ait İstasyonların Kayaç Dayanım Katsayıları

İstasyon	Anakaya	Yazın Ölçülen Sertlik (SI)	Kışın Ölçülen Sertlik (SI)	Yıllık Ortalama	Mevsimsel Fark
1	Metakırıntılı kaya	41,66	38	39,83	3,66
2	Metakırıntılı kaya	42,33	31,2	36,77	11,13
3	Metakırıntılı kaya	39,83	30,8	35,32	9,03
4	Çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı	33	26,3	29,65	6,7
5	Andezit - tüf	31,83	21	26,42	10,83
6	Kireçtaşı	48	36,5	42,25	11,5
7	Çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı	39,33	34	36,67	5,33
8	Aglomera	31,16	19,3	25,23	11,86
9	Çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı	49	48,8	48,9	0,2
10	Andezit – tüf	41,33	26	33,67	15,33
11	Andezit – tüf	43	28	35,5	15
12	Andezit – tüf	46,66	30,5	38,58	16,16
13	Andezit – tüf	43,83	24	33,92	19,83
14	Andezit – tüf	58,16	50,8	54,48	7,36
15	Andezit – tüf	45	38,5	41,75	6,5
16	Kumtaşı, çamurtaşı, kireçtaşı	34	30,67	32,34	3,33
17	Granodiyorit	51,86	49,28	50,57	2,58

Kaynak: Orijinal

En yüksek yıllık alterasyon değeri 5 numaralı istasyonda yer alan andezit–tüf biriminde belirlenmiştir (0,560). Benzer şekilde 8 numaralı istasyondaki aglomera birimi de 0,541 değeri ile yüksek alterasyon göstermektedir. Bu kayaçların gözenekli yapıları, çatlaklı dokuları ve suyu bünyelerinde daha kolay tutabilmeleri, ayrışma süreçlerinin hızlanmasına neden olmaktadır. Özellikle tüf ve aglomera gibi piroklastik

kayaçların fiziksel ve kimyasal ayrışmaya karşı daha hassas olduğu bilinmektedir. Bu nedenle söz konusu sahaların erozyon açısından daha riskli alanlar olduğu değerlendirilmektedir.

Buna karşılık en düşük yıllık alterasyon değeri 14 numaralı istasyonda ölçülmüştür (0,092). Aynı şekilde granodiyorit biriminin bulunduğu 17 numaralı istasyonda da düşük alterasyon değeri (0,222) belirlenmiştir. Bu durum, granodiyorit ve masif volkanik kayaçların daha sağlam mineral bileşimine sahip olması ve dış etkenlere karşı daha dirençli davranmasıyla açıklanabilir. Sert ve kompakt yapıdaki bu kayaçlar, çatlak gelişiminin sınırlı olması nedeniyle ayrışma süreçlerinden daha az etkilenmektedir.

Sedimanter karakterli çakıltaşı, kumtaşı ve çamurtaşı birimlerinin bulunduğu istasyonlarda ise orta düzeyde alterasyon değerleri gözlenmiştir. Özellikle 4 ve 16 numaralı istasyonlarda yıllık alterasyon ortalamalarının nispeten yüksek olması, bu kayaçların zayıf çimentolanma özellikleriyle ilişkili olabilir. Çamurtaşı içeren seviyelerde suyun kayaç bünyesine daha kolay nüfuz etmesi, ayrışma süreçlerini hızlandırmaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, havzada alterasyon düzeyinin yüksek olduğu alanların çoğunlukla düşük dayanımlı volkanik ve sedimanter kayaçlarla ilişkili olduğu görülmektedir. Buna karşılık granodiyorit ve daha masif kayaç birimlerinde alterasyon seviyeleri düşük kalmıştır. Bu sonuçlar, kayaç dayanımı ile alterasyon arasında ters yönlü bir ilişki bulunduğunu ortaya koymaktadır. Alterasyon seviyesinin arttığı alanlarda kayaç dayanımının azaldığı ve buna bağlı olarak erozyon hassasiyetinin yükseldiği anlaşılmaktadır. Bu nedenle yıllık alterasyon haritası, havzada erozyona duyarlı sahaların belirlenmesi açısından önemli veriler sunmaktadır.

Grafikte yıllık kayaç sertliği (SI) ile yıllık alterasyon indeksi (AI) arasında belirgin bir negatif doğrusal ilişki görülmektedir (Şekil 20). Regresyon doğrusunun aşağı yönlü eğimi, kayaç sertliği arttıkça alterasyon düzeyinin azaldığını göstermektedir. Başka bir ifadeyle; dayanımı yüksek kayaçlar ayrışma süreçlerinden daha az etkilenirken, düşük dayanımlı kayaçlar daha yüksek alterasyon değerleri göstermektedir.

Tablo 21. Ardıçtepe Barajı Havzası'nda Ana Kayaç Gruplarına Ait İstasyonların Alterasyon Durumu

İstasyon	Anakaya	Alterasyon (Yaz)	Alterasyon (Kış)	Alterasyon (Yıllık)
1	Metakırıntılı kaya	0,242	0,309	0,276
2	Metakırıntılı kaya	0,230	0,433	0,332
3	Metakırıntılı kaya	0,275	0,440	0,358
4	Çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı	0,4	0,522	0,461
5	Andezit - tüf	0,470	0,650	0,560
6	Kireçtaşı	0,2	0,392	0,296
7	Çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı	0,285	0,382	0,334
8	Aglomera	0,433	0,649	0,541
9	Çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı	0,109	0,113	0,111
10	Andezit – tüf	0,311	0,567	0,439
11	Andezit – tüf	0,283	0,533	0,408
12	Andezit – tüf	0,222	0,492	0,357
13	Andezit – tüf	0,270	0,600	0,435
14	Andezit – tüf	0,030	0,153	0,092
15	Andezit – tüf	0,250	0,358	0,304
16	Kumtaşı, çamurtaşı, kireçtaşı	0,382	0,442	0,412
17	Granodiyorit	0,202	0,242	0,222

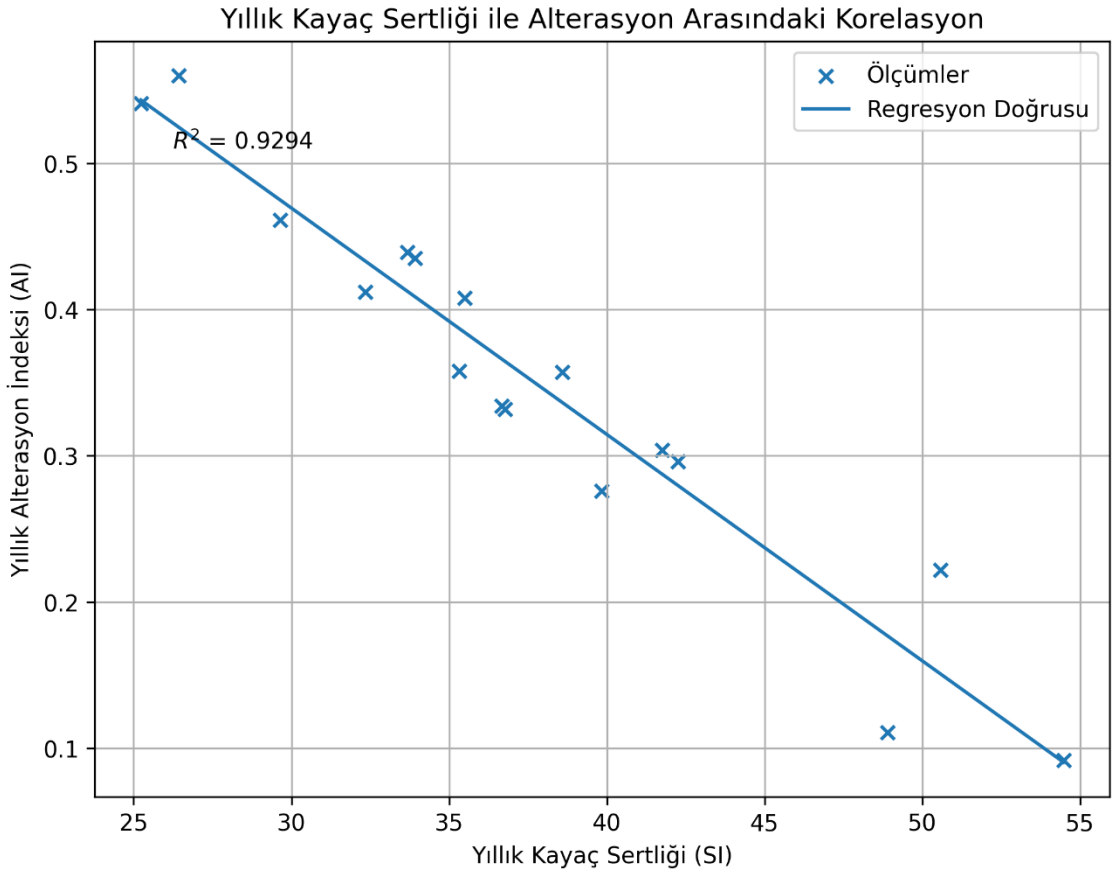
Kaynak: Orijinal

Grafikte özellikle düşük sertlik değerlerine sahip örneklerin yüksek alterasyon zonunda toplandığı dikkat çekmektedir. Bu durum; aglomera, tüf ve zayıf çimentolu sedimanter birimlerin fiziksel ayrışmaya daha duyarlı olduğunu göstermektedir. Buna karşılık granodiyorit ve daha masif kayaçların yüksek Schmidt sertlik değerlerine

sahip olduğu ve düşük alterasyon seviyelerinde yer aldığı görülmektedir. Bu sonuç, kayaç dayanımı ile ayrışma süreçleri arasındaki ters yönlü ilişkinin sahada açık biçimde gözlendiğini ortaya koymaktadır.

Elde edilen R^2=0,9294 değeri, alterasyon değişiminin yaklaşık %93'ünün kayaç sertliği ile açıklanabildiğini göstermektedir. Bu oldukça yüksek bir korelasyon düzeyidir ve ölçümlerin güvenilirliğini desteklemektedir. Aynı zamanda havzada kayaç dayanımının alterasyon üzerinde belirleyici bir kontrol faktörü olduğunu göstermektedir.

Grafikte veri noktalarının regresyon doğrusuna yakın dağılım göstermesi, mevsimsel ölçümlerin tutarlı olduğunu ve kriging analizlerinden elde edilen alansal dağılışların da bu ilişkiyi desteklediğini göstermektedir. Bu nedenle çalışma sahasında kayaç sertliği ile alterasyon arasında güçlü ve anlamlı bir ilişki bulunduğu söylenebilir.



Şekil 20. Ardıçtepe Barajı Havzası'nda Schmidt Geri Tepme Yıllık Ortalama Sertliği (SI) ile Yıllık Ortalama Alterasyon İndeksi (AI) Arasındaki Doğrusal Regresyon İlişkisi

Kaynak: Orijinal

Yıllık ortalama kayaç sertliği haritası incelendiğinde (Şekil 21), havza genelinde kayaç dayanımının alansal olarak farklılık gösterdiği görülmektedir. Haritada yüksek sertlik değerleri koyu kahverengi tonlarla, düşük sertlik değerleri ise açık yeşil ve beyaz tonlarla temsil edilmektedir. Yıllık ortalama sertlik değerleri 25,23 ile 50,57 arasında değişmekte olup, havzada orta ve yüksek dayanımlı kayaçların geniş alan kapladığı anlaşılmaktadır.

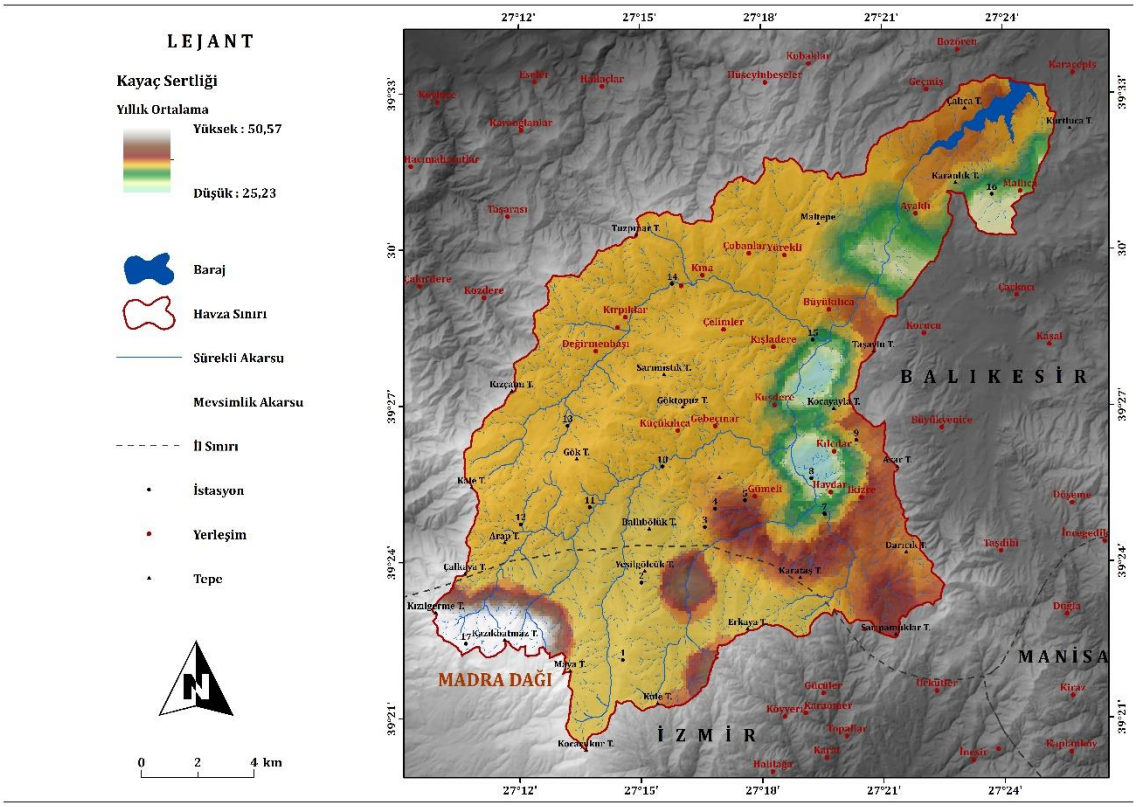
Haritanın özellikle doğu, güneydoğu ve kuzeydoğu kesimlerinde yüksek kayaç sertliği değerleri dikkat çekmektedir. Karataş çevresi, Darıcık Tepe güneyi, Gümeli çevresi ile Mallıca–Karanlık Tepe hattında sertlik değerlerinin yükseldiği görülmektedir. Bu alanların daha masif, sağlam ve ayrışmaya karşı dirençli kayaçlardan oluştuğu düşünülmektedir. Özellikle granodiyorit ve sağlam volkanik kayaçların bulunduğu sahalarda yıllık ortalama sertlik değerlerinin belirgin şekilde arttığı anlaşılmaktadır. Bu durum, söz konusu kayaçların fiziksel parçalanmaya ve yüzeysel ayrışma süreçlerine karşı daha dirençli olduğunu göstermektedir.

Buna karşılık havzanın orta-doğu kesimlerinde, Kocayayla çevresinde, Haydar–İkizce hattında ve bazı vadi tabanlarında düşük sertlik değerleri gözlenmektedir. Bu alanlar haritada açık yeşil ve beyaz tonlarla temsil edilmekte olup, daha zayıf dayanımlı ve alterasyona duyarlı kayaç birimlerini göstermektedir. Özellikle tüf, aglomera ve zayıf çimentolu sedimanter kayaçların bulunduğu alanlarda sertlik değerlerinin düştüğü belirlenmiştir. Düşük dayanımlı bu kayaçların fiziksel ayrışma ve erozyon süreçlerinden daha fazla etkilendiği düşünülmektedir.

Haritada (Şekil 21) kayaç sertliği dağılışının topoğrafya ve drenaj ağı ile uyumlu bir görünüm sergilediği de dikkat çekmektedir. Sürekli ve mevsimlik akarsu vadileri boyunca sertlik değerlerinin azaldığı görülmektedir. Bu durum, akarsu etkisiyle gelişen nemlilik koşulları, yüzey akışı, çatlak gelişimi ve fiziksel ayrışma süreçlerinin bu alanlarda daha etkin olduğunu göstermektedir. Özellikle eğim kırıklıklarının bulunduğu kesimlerde sertlik değişimlerinin daha belirgin hale geldiği görülmektedir.

Yıllık ortalama sertlik haritası, yaz ve kış dönemlerine ait ölçümlerin birlikte değerlendirilmesi sayesinde mevsimsel farklılıkları dengelemiş ve havzanın genel kaya dayanım karakterini daha net ortaya koymuştur. Bu nedenle harita, havzadaki

alterasyon süreçlerinin, erozyon duyarlılığının ve jeomorfolojik gelişimin değerlendirilmesi açısından önemli bir veri kaynağı niteliği taşımaktadır.

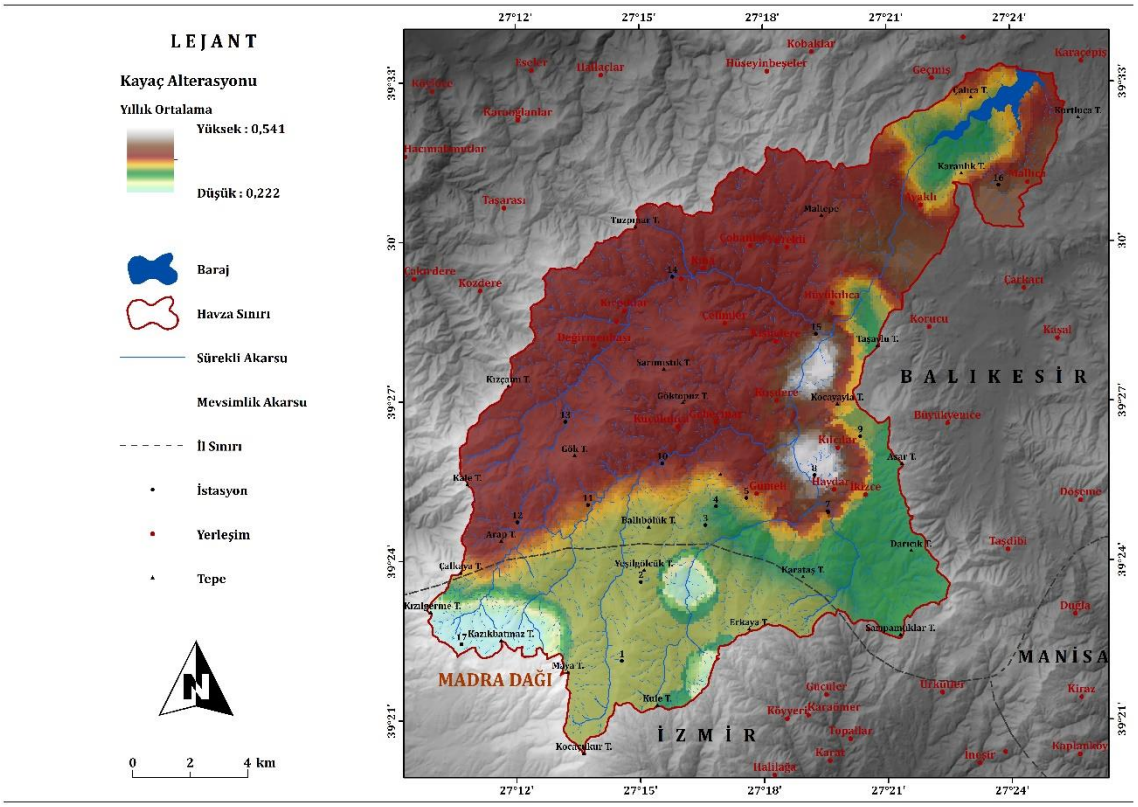


Şekil 21. Ardıçtepe Baraj Havzası'nda Kayaç Sertliğinin Yıllık Ortalama Dağılış Haritası

Kaynak: Orijinal

Yıllık ortalama alterasyon haritası incelendiğinde (Şekil 22), havza genelinde alterasyonun alasal dağılışının belirgin farklılıklar gösterdiği görülmektedir. Haritada yüksek alterasyon değerleri koyu kahverengi tonlarla, düşük alterasyon değerleri ise açık yeşil ve beyaz tonlarla temsil edilmektedir. Yıllık ortalama alterasyon değerlerinin 0,222 ile 0,541 arasında değiştiği belirlenmiştir. Bu durum, havzada kayaçların ayrışma derecelerinin litoloji, topoğrafya ve nem koşullarına bağlı olarak değiştiğini göstermektedir.

Haritada (Şekil 22) özellikle havzanın kuzey, kuzeybatı ve orta kesimlerinde alterasyon değerlerinin yükseldiği dikkat çekmektedir. Kırpıklar, Çelimler, Kına çevresi ile havzanın kuzeybatı yamaçlarında koyu kahverengi tonların yaygın olduğu görülmektedir. Bu alanlarda fiziksel ayrışmanın daha ileri düzeyde olduğu düşünülmektedir. Ayrıca topoğrafik yükselti farkları, eğim değerleri ve yüzeysel akışın etkisiyle kayaçların çatlak sistemlerinin gelişmiş olması alterasyon süreçlerini hızlandırmış olabilir.



Şekil 22. Ardıçtepe Baraj Havzası'nda Kayaç Alterasyonunun Yıllık Ortalama Dağılışı

Kaynak: Orijinal

Buna karşılık havzanın güney ve güneydoğu kesimlerinde alterasyon değerlerinin belirgin şekilde azaldığı görülmektedir. Karataş çevresi, güneybatı kesimleri ve bazı vadi tabanlarında açık yeşil ve beyaz tonlar dikkat çekmektedir. Bu alanlarda daha dayanımlı kayaçların yaygın olması nedeniyle ayrışma süreçlerinin sınırlı kaldığı düşünülmektedir. Özellikle granodiyorit ve masif volkanik kayaçların bulunduğu sahalarda alterasyonun düşük seviyelerde geliştiği anlaşılmaktadır.

Haritada (Şekil 22) akarsu vadileri boyunca alterasyon dağılışında değişimlerin gözlenmesi dikkat çekicidir. Sürekli ve mevsimlik akarsu ağları çevresinde nemlilik koşullarının artması, yüzey akışı ve çatlak gelişimi gibi süreçlerin alterasyonu desteklediği düşünülmektedir. Özellikle topoğrafik geçiş zonlarında alterasyon değerlerinin kısa mesafelerde değişmesi, litolojik farklılıkların etkisini ortaya koymaktadır.

Yıllık alterasyon haritası, yaz ve kış dönemlerine ait alterasyon verilerinin birlikte değerlendirilmesi sayesinde havzadaki genel ayrışma karakterini daha dengeli biçimde ortaya koymuştur. Harita sonuçları; kayaç sertliği, Schmidt ölçümleri ve regresyon analizleri ile büyük ölçüde uyum göstermektedir. Bu durum, havzada kayaç

dayanımı azaldıkça alterasyonun arttığını ve ayrışma süreçlerinin özellikle düşük dayanımlı kayaç birimlerinde yoğunlaştığını ortaya koymaktadır.

4.1.1.1.4. Havzada Yer Alan Ana Kayaç Gruplarının Diğer Faktörler ile İlişkisi

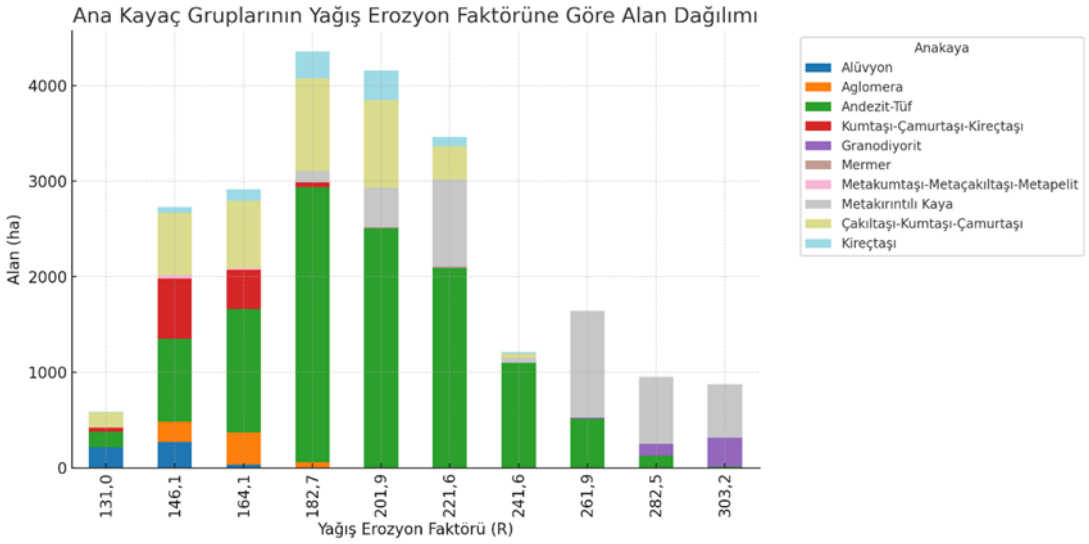
Ardıçtepe Barajı Havzası'nda yer alan ana kayaç gruplarının sadece litolojik özellikleri değil, aynı zamanda diğer çevresel faktörlerle olan ilişkileri de erozyon süreçlerinin anlaşılması açısından büyük önem taşımaktadır. Bir kayaç grubunun fiziksel ayrışmaya ne ölçüde açık olduğu yalnızca mineral bileşimi ve yapısal özelliklerle değil; aynı zamanda maruz kaldığı yağış miktarı, bulunduğu yükselti basamağı ve içinde yer aldığı eğim grubu ile birlikte değerlendirildiğinde daha anlamlı hale gelmektedir. Bu kapsamda, havzada yaygın olarak gözlenen metakumtaşı, metaçakıltaşı, andezit-tüf, kireçtaşı, aglomera, granodiyorit ve benzeri ana kayaç grupları, erozyon potansiyelleriyle birlikte yağış erozyon faktörü, yükselti zonlaması ve eğim kademeleri gibi temel morfometrik faktörlerle birlikte analiz edilmiştir. Bu analizler, kayaçların farklı çevresel koşullarda nasıl davrandığını ortaya koyarak, erozyon risk haritalaması ve arazi kullanım planlaması açısından önemli bir temel sunmaktadır.

4.1.1.1.4.1. Ana Kayaç Gruplarının Yağış Erozyon Faktörüne Göre Dağılımı

Yağış, erozyonun başlıca tetikleyicilerinden biri olarak kabul edilmekte olup, özellikle yüksek miktarda ve şiddetli gerçekleştiğinde yüzey akışını artırarak kayaç ve toprak malzemesinin taşınmasını kolaylaştırır. Bu nedenle, havzada yer alan ana kayaç gruplarının hangi yağış erozyon potansiyeli zonlarında bulunduğunun belirlenmesi, kayaçların ayrışma hızları ve erozyona karşı duyarlılıklarının anlaşılması açısından kritik öneme sahiptir. Bazı kayaçlar fiziksel olarak dirençli yapıları sayesinde yüksek yağış zonlarında dahi parçalanmaya karşı dayanıklılık gösterirken, bazıları daha düşük yağış alan bölgelerde bile yüksek ayrışma sergileyebilir. Bu bölümde, ana kayaç türlerinin yağış erozyon faktörü haritası ile alansal ilişkileri incelenerek, litolojik yapı ile yağış etkisinin birlikte erozyon riskine nasıl yansıdığı ortaya konmuştur (Tablo 22).

Tablo 22 ve Şekil 23'de, havzada yer alan ana kayaç gruplarının farklı yağış erozyon faktörü zonlarında (131,0'dan 332,6'ya kadar) ne kadar dağılım gösterdiğini sayısal olarak sunmaktadır. Buradaki değerler, "ton/ha/yıl" biriminde ifade edilen R faktörü değerlerine karşılık gelen zonlarda her bir anakaya grubunun toplam katkısını (alan veya etkilenme miktarı) göstermektedir. Elde edilen veriler, yağış erozyon potansiyelinin kayaç türlerine göre farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Tablo 22 ve Şekil 23'de toplamda en yüksek değeri gösteren kayaç grubu andezit–tüf (12.449,48) birimidir. Bu kayaç grubu, özellikle 164,1 – 221,6 mm/ha/yıl aralığındaki R faktörü zonlarında yoğunlaşmaktadır. Bu dağılım, andezit-tüf kayaçlarının genelde orta dayanımlı ve yer yer ayrışmaya açık olması nedeniyle yağışa bağlı erozyona duyarlı olduğunu göstermektedir. Özellikle mikroçatlaklı, tüfitik dokular, yüzey akışıyla birlikte parçalanmaya açık hale gelir ve yüksek sediman taşınımına katkı sağlar.



Şekil 23. Ana Kayaç Gruplarının Yağış Erozyon Faktörüne Göre Alansal Dağılımı (ton/ha/yıl)

Kaynak: Orijinal

Metakırıntılı Kaya (4.079,87): Bu grup, daha çok 201,9–282,5 R zonlarında yoğunluk göstermektedir. Bu değerler, metakırıntılı kayaçların alterasyona açık yapısı ile birlikte yağış etkisiyle kolayca parçalanabildiğini ve erozyonla taşınabilir hale geldiğini göstermektedir (Tablo 22 ve Şekil 23).

Çakıltaşı–Kumtaşı–Çamurtaşı (3.799,91): Bu litolojik gruplar da geniş bir dağılım sergileyerek özellikle 164,1–201,9 R zonları arasında yüksek oranda yer almaktadır. Genellikle zayıf çimentolanmış olan bu birimler, yüksek eğim ve şiddetli

yağışla birlikte örtü erozyonu ve yüzeysel akışa karşı oldukça hassastır (Tablo 22 ve Şekil 23).

Tablo 22. Ana Kayaç Gruplarının Yağış Erozyon Faktörüne Göre Dağılımı (ton/ha/yıl)

Anakaya	131,0	146,1	164,1	182,7	201,9	221,6	241,6	261,9	282,5	303,2	324,2	332,6	TOPLAM
Alüvyon	214,53	268,87	32,28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	515,68
Aglomera	0	212,54	336,73	58,26	0	0	0	0	0	0	0	0	607,53
Andezit-Tüf	161,32	868,01	2.195,80	2.878,31	2.510,25	2.095,59	1.096,23	510,08	126,46	7,43	0	0	12.449,48
Kumtaşı Çamurtaşı Kireçtaşı	44,07	632,06	409,26	49,07	0	0	0	0	0	0	0	0	1.134,46
Granodiyorit	0	0	0	0	0	0	0	14,31	119,86	305,29	167,95	0	607,41
Mermer	0	0	0	0	8,01	14,29	0	1,15	0	0	0	0	23,45
Metakumtaşı Metaçakıltaşı Metapelit	2,58	40,30	16,39	8,05	0	0	0	0	0	0	0	0	67,32
Metakırıntılı Kaya	0	0	0	116,62	414,40	905,22	54,16	1.114,81	703,42	559,57	193,67	18	4.079,87
Çakıltaşı Kumtaşı Çamurtaşı	158,85	647,74	704,93	972,02	919,70	350,91	45,43	0,33	0	0	0	0	3.799,91
Kireçtaşı	3,03	58,66	118,54	277,01	306,78	99,98	12,26	2,03	0	0	0	0	878,29
TOPLAM	584,38	2.728,18	3.813,93	4.359,34	4.159,14	3.465,99	1.208,08	1.642,71	949,74	872,29	361,62	18	24.163,4

Kaynak: Orijinal

Aglomera (607,53) ve Granitik Kayaçlar (Granodiyorit – 607,41): Bu iki kayaç grubu, daha çok 164,1–182,7 gibi orta R faktörü zonlarında yayılış göstermektedir. Görece daha sağlam yapılar taşımakla birlikte, çatlak zonları boyunca suyla temas ettiklerinde yer yer ayrışma gösterebilirler. Ancak genelde erozyon direnci yüksektir, bu da düşük yayılım miktarına yansımaktadır (Tablo 22 ve Şekil 23).

Mermer (23,45) ve Alüvyon (515,68): Mermer, yüksek yoğunlukta, kristalin yapıda ve düşük gözenekliliğe sahip olması nedeniyle yağış etkisiyle ayrışmaya oldukça dirençlidir. Alüvyon ise gevşek malzeme yapısına sahip olmasına rağmen genelde düz ve düşük eğimli alanlarda bulunduğundan, yağış kaynaklı yüzey akışının etkisi sınırlıdır. Ancak taşkın alanlarında sediman yeniden yer değiştirebilir (Tablo 22 ve Şekil 23).

Bu veriler gösteriyor ki, kayaçların erozyon riski sadece litolojik özelliklerinden değil, aynı zamanda bulundukları yağış zonundan da doğrudan etkilenmektedir. Örneğin: Andezit-tüf gibi görece dayanıklı kayaçlar, yüksek R faktörüne sahip alanlarda yoğunlaştığında bileşenlerine ayrışıp sediman üretimini artırabilmektedir. Zayıf çimentolu ve alterasyona yatkın kayaçlar, orta yağış zonlarında dahi yüksek erozyon riski taşıyabilmektedir. Granit, mermer ve bazı tüf grupları, düşük yağışlı zonlarda stabil kalarak doğal tampon bölgeler oluşturabilmektedir.

Bu dağılım, erozyon risk haritalarında yalnızca kayaç türüne değil, yağış erozyon faktörünün litolojik dağılım üzerindeki etkisine de odaklanılması gerektiğini ortaya koymaktadır. Aynı kayaç farklı yağış zonlarında farklı davranış sergileyebilir. Bu nedenle litolojik analiz ile meteorolojik verilerin entegrasyonu, doğru erozyon yönetimi ve önlem planlaması için vazgeçilmezdir.

4.1.1.1.4.2. Ana Kayaç Gruplarının Yükselti Kademelerine Göre Dağılımı

Yükselti, bir bölgedeki litolojik birimlerin fiziksel ve kimyasal ayrışma süreçleri üzerinde doğrudan etkili olan temel morfometrik parametrelerden biridir. Farklı yükselti basamaklarında yer alan kayaç grupları, maruz kaldıkları yağış miktarı, sıcaklık değişimleri, donma-çözülme etkisi ve bitki örtüsü gibi faktörlere bağlı olarak farklı derecelerde ayrışmaya uğrayabilir. Ayrıca yükselti, topoğrafyanın şekillenmesiyle doğrudan ilişkili olduğundan, kayaçların yerleşim düzeni ve erozyon

Tablo 23. Ana Kayaç Gruplarının Yükselti Kademelerine Göre Alansal Dağılımı (ha)

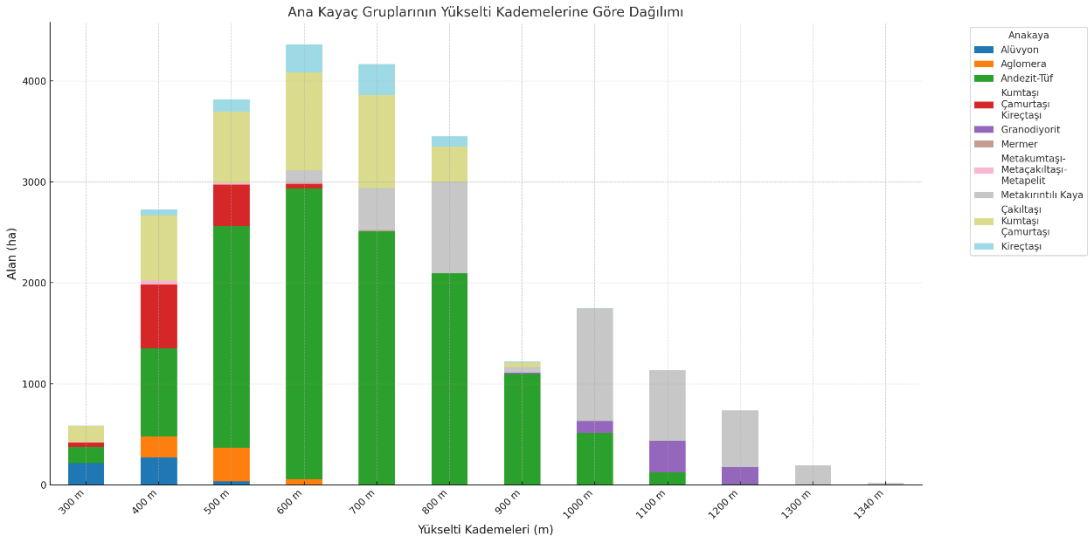
Anakaya	300 m	400 m	500 m	600 m	700 m	800 m	900 m	1000 m	1100 m	1200 m	1300 m	1340 m	TOPLAM
Alüvyon	214,53	268,87	32,28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	515,68
Aglomera	0	212,54	336,73	58,26	0	0	0	0	0	0	0	0	607,53
Andezit-Tüf	161,32	868,01	2.195,80	2.878,31	2.510,25	2.095,59	1.096,23	510,08	126,46	7,43	0	0	12.449,48
Kumtaşı Çamurtaşı Kireçtaşı	44,07	632,06	409,26	49,07	0	0	0	0	0	0	0	0	1.134,46
Granodiyorit	0	0	0	0	0	0	0	14,31	119,86	305,29	167,95	0	607,41
Mermer	0	0	0	0	8,01	14,29	0	1,15	0	0	0	0	23,45
Metakumtaşı Metacakıltaşı Metapelit	2,58	40,30	16,39	8,05	0	0	0	0	0	0	0	0	67,32
Metakırıntılı Kaya	0	0	0	116,62	414,40	905,22	54,16	1.114,81	703,42	559,57	193,67	18	4.079,87
Çakıltaşı Kumtaşı Çamurtaşı	158,85	647,74	704,93	972,02	919,70	350,91	45,43	0,33	0	0	0	0	3.799,91
Kireçtaşı	3,03	58,66	118,54	277,01	306,78	99,98	12,26	2,03	0	0	0	0	878,29
TOPLAM	584,38	2.728,18	3.813,93	4.359,34	4.159,14	3.465,99	1.208,08	1.642,71	949,74	872,29	361,62	18	24.163,4

Kaynak: Orijinal

duyarlılığı da bu parametreye bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu doğrultuda, havzada yer alan ana kayaç gruplarının farklı yükselti kademeleri içerisindeki dağılımı analiz edilerek, litolojik birimlerin morfolojik konumları ile erozyon süreçleri arasındaki mekânsal ilişki ortaya konmuştur.

Yukarıda sunulan dağılım tablosu ve grafik aracılığıyla, her bir anakaya grubunun hangi yükselti kademelerinde yoğunlaştığı (hektar cinsinden) belirlenmiş ve bu dağılımın erozyon riskine etkileri değerlendirilmiştir.

Havza genelinde anakaya gruplarının farklı yükselti basamaklarındaki dağılımı, jeomorfolojik yapı ile litolojik birimlerin ilişkisini ortaya koymaktadır. 300–700 metre aralığı, en fazla kayaç çeşitliliğinin ve yüzey alanının bulunduğu kademe olarak dikkat çekmektedir. Özellikle Andezit-Tüf ve Çakıltaşı-Kumtaşı-Çamurtaşı birimleri, 500–700 metre yükselti aralığında büyük alanlar kaplamakta ve havzanın orta kesimlerinde yaygınlık göstermektedir. Bu kayaçlar, ayrışmaya açık yapıları nedeniyle erozyon açısından orta riskli gruplar arasında yer almaktadır (Tablo 23 ve Şekil 24).



Şekil 24. Ana kayaç Gruplarının Yükselti Kademelerine Göre Dağılımı

Kaynak: Orijinal

1000 metre ve üzeri yükseltilerde kayaç çeşitliliği belirgin şekilde azalmakta, ancak Metakırıntılı Kaya, Granodiyorit ve yer yer Andezit-Tüf birimleri bu kesimlerde varlık göstermektedir. Özellikle Metakırıntılı Kaya grubunun 1000–1300 metre aralığında geniş alanlara yayılması, bu sert litolojik yapının yüksek topoğrafyada baskın olduğunu göstermektedir. Sertlik dereceleri yüksek olan bu kayaçların fiziksel

erozyona karşı dirençli olması beklenir; ancak eğim ve iklim koşullarıyla birleştiğinde, yüzeysel taşınma riskleri yer yer artabilir (Tablo 23 ve Şekil 24).

300–400 metre aralığında özellikle Alüvyon, Aglomera ve Çakıltaşı-Kumtaşı-Çamurtaşı gibi zayıf tutunma ve yüksek ayrışma potansiyeline sahip birimlerin yoğunlaştığı görülmektedir. Bu birimler, yağışla kolayca çözülerek yüzeysel akışa geçebilir ve taşınım riski yüksektir. Dolayısıyla düşük yükselti kademeleri, yüksek erozyon potansiyeline sahip alanlar olarak öne çıkmaktadır (Tablo 23 ve Şekil 24).

Yükselti ile anakaya grupları arasında mekânsal bir eşleşme söz konusudur. Litolojik direnç seviyesi düşük kayaçların çoğunlukla düşük ve orta yükselti basamaklarında bulunması, bu alanlarda erozyon hassasiyetini artıran bir faktör olarak değerlendirilebilir. Buna karşın yüksek rakımlarda yer alan dirençli birimler, genellikle sınırlı ayrışma gösterse de topoğrafik eğim ve meteorolojik faktörlerle birlikte risk teşkil edebilir. Bu nedenle, litoloji-yükselti ilişkisi, erozyon analizi kapsamında bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmelidir (Tablo 23 ve Şekil 24).

4.1.1.1.4.3. Ana Kayaç Gruplarının Eğim Gruplarına Dağılımı

Eğim, arazinin morfolojik karakterini tanımlayan en temel parametrelerden biridir ve su erozyonunun şiddetini belirleyen başlıca etkenler arasında yer alır. Eğim arttıkça yüzey akış hızı da artmakta, bu durum hem taşınan malzeme miktarını hem de toprağın ayrışma ve taşınma riskini doğrudan etkilemektedir. Ancak sadece eğim değil, aynı zamanda zeminde bulunan anakaya türleri de bu sürecin biçimlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Farklı litolojik birimlerin eğim grupları içerisindeki dağılımının incelenmesi hem jeomorfolojik süreçlerin anlaşılması hem de erozyon risk haritalarının oluşturulmasında önemli bir temel teşkil etmektedir. Bu bağlamda, çalışma alanındaki ana kayaç gruplarının farklı eğim kademeleri içerisinde gösterdiği mekânsal dağılım analiz edilerek, litolojik ve topografik değişkenlerin erozyonla ilişkisi bütüncül bir yaklaşımla ortaya konmuştur.

Aşağıda sunulan tablo ve grafikte, her bir anakaya grubunun hangi eğim kademelerinde yoğunlaştığı gösterilmiş; bu dağılımın, potansiyel yüzey erozyonu riskine etkileri değerlendirilmiştir.

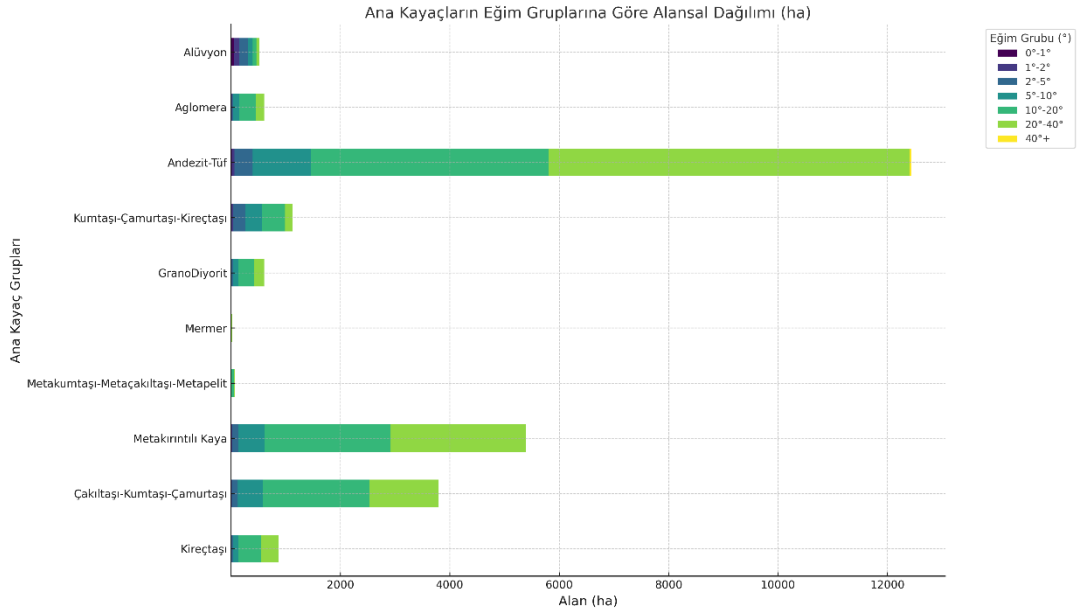
Tablo ve grafik incelendiğinde, çalışma alanındaki toplam 25.437,49 hektarlık yüzeyin, en geniş alanı 10^0–20° ve 20^0–40° eğim gruplarında yoğunlaştığı görülmektedir. Bu durum, havzanın büyük kısmının orta ve dik eğimli yamaçlardan oluştuğunu ortaya koymakta ve bu alanların erozyon riski açısından daha hassas olduğu fikrini desteklemektedir. Düşük eğimli alanlar (0^0–1°) yalnızca 91,28 ha gibi sınırlı bir yüzeyi kaplamaktadır ve bu alanların çoğunlukla alüvyon gibi gevşek malzemelere ev sahipliği yaptığı dikkat çekmektedir.

Tablo 24. Ana Kayaçların Eğim Gruplarına Göre Alansal Dağılımı (ha)

Anakaya	**0º-1º**	**1º-2º**	**2º-5º**	**5º-10º**	**10º-20º**	**20º-40º**	**40º +**	**TOPLAM**
Alüvyon	51,3	94,7	171,3	80,7	66,6	50,6	0	515,2
Aglomera	4,1	8,1	32,2	105,9	299,8	157,1	0	607,2
Andezit-Tüf	15,1	48,1	334,2	1.069,5	4.343,5	6.598,5	27,4	12.436,3
Kumtaşı Çamurtaşı Kireçtaşı	8,35	27,7	222,1	311,6	418,8	137,3	0	1.125,85
Granodiyorit	2	6,13	33,1	98,7	286,5	177,9	0	604,33
Mermer	0	0,1	0,4	2,1	4,7	15,3	0,5	23,1
Metakumtaşı Metaçakıltaşı Metapelit	0,11	0,29	1,5	7,1	42,3	15,9	0	67,2
Metakırıntılı Kaya	4,28	13,9	119,9	470,6	2.312,2	2.471,2	4,4	5.396,48
Çakıltaşı Kumtaşı Çamurtaşı	3,93	12,6	109,9	458,2	1.950	1.254,6	1,1	3.790,33
Kireçtaşı	2,11	4,29	25,7	106	412,8	317,2	3,4	871,5
TOPLAM	91,28	215,91	1.050,3	2.710,4	10.137,2	11.330,6	36,8	25.437,49

Kaynak: Orijinal

Andezit–Tüf birimi, toplamda 12.436,3 ha gibi geniş bir alanda yayılım göstermektedir ve özellikle 10^0–20° (4.343,5 ha) ile 20^0–40° (6.598,5 ha) eğim gruplarında baskındır. Bu dağılım, andezit-tüf gibi volkanik kökenli kayaçların dik yamaçları oluşturduğunu ve bu alanlarda blok kopmaları, yüzeysel akışlar ve parmak erozyonu gibi süreçlerin baskın olabileceğini göstermektedir (Tablo 24 ve Şekil 25).



Şekil 25. Ana Kayaç Gruplarının Eğime Göre Dağılımı (ha)

Kaynak: Orijinal

Metakırıntılı kayaçlar, yine benzer şekilde yüksek eğimli alanlarda belirgin bir yayılım göstermektedir. Özellikle 10^0–40° eğim aralığında 4.783,2 ha alana sahiptir. Bu yapı, bu birimlerin morfolojik olarak sert ancak ayrışma potansiyeli olan yapılarla karakterize olduğunu ve erozyon açısından dikkatle izlenmesi gerektiğini göstermektedir (Tablo 24 ve Şekil 25).

Alüvyon, kireçtaşı ve çakıltaşı–kumtaşı–çamurtaşı birimleri, eğim grupları açısından farklı yoğunluklar göstermektedir. Alüvyon, özellikle 1°–2° ve 2°–5° arası düşük eğimli alanlarda yoğunlaşmakta ve bu durum onun genellikle vadi tabanları, ova geçişleri veya akarsu kenarları gibi düşük enerjili çevresel koşullarda yer aldığını göstermektedir. Buna karşılık, kireçtaşı ile çakıltaşı–kumtaşı–çamurtaşı birimleri ise daha çok 10°–40° arası orta ve dik eğimli yamaçlarda yayılım göstermekte; bu da bu litolojilerin bulunduğu alanlarda yüzey akışı ve fiziksel erozyon riskinin daha yüksek olduğunu işaret etmektedir. Bu farklılaşma, kayaç türlerinin eğimle olan mekânsal

ilişkisini ve potansiyel erozyon riskini daha net ortaya koymaktadır (Tablo 24 ve Şekil 25).

40° üzeri çok dik alanlar yalnızca 36,8 ha gibi çok sınırlı bir yüzeye sahiptir. Bu alanlarda mekanik parçalanma ve kütle hareketleri gibi süreçlerin varlığı muhtemeldir. Özellikle andezit-tüf ve metakırıntılı kaya birimleri burada da sınırlı da olsa temsil edilmiştir (Tablo 24 ve Şekil 25).

Genel olarak bakıldığında: Yüksek eğimli alanlarda sert anakayalar (andezit-tüf, metakırıntılı) baskındır; bu durum şiddetli yüzey akışı ve taşınma süreçlerini besleyebilir. Düşük eğimli alanlar, gevşek dokulu anakayalara sahiptir ve yağış yoğunluğu ile birleştiğinde şiddetli yüzey erozyonuna maruz kalabilir. Özellikle dik eğimli yamaçlar (10^0–40°), hem geniş alansal dağılımları hem de litolojik çeşitlilikleri nedeniyle erozyon kontrolü açısından öncelikli bölgeler olarak değerlendirilebilir.

4.1.1.2. Toprak Aşınabilirlik (Eroadibilite) (X_2) Faktörü

Toprak, erozyon sürecinin temel bileşenlerinden biri olup yüzey akışı, infiltrasyon kapasitesi, agregat stabilitesi ve parçalanabilirlik özellikleri bakımından erozyonun oluşumu ve şiddeti üzerinde doğrudan etkili olmaktadır. Toprağın tekstürü, strüktürü, organik madde miktarı, geçirgenlik özellikleri ve horizon gelişimi gibi fiziksel ve kimyasal özellikleri, yağış sularına karşı gösterdiği direnci belirleyen başlıca unsurlar arasında yer almaktadır. Özellikle ince materyal oranı yüksek, organik madde bakımından zayıf ve agregat stabilitesi düşük topraklar yüzey akışı karşısında daha hassas hale gelmekte ve erozyona karşı duyarlılık artmaktadır (Wischmeier ve Smith, 1978).

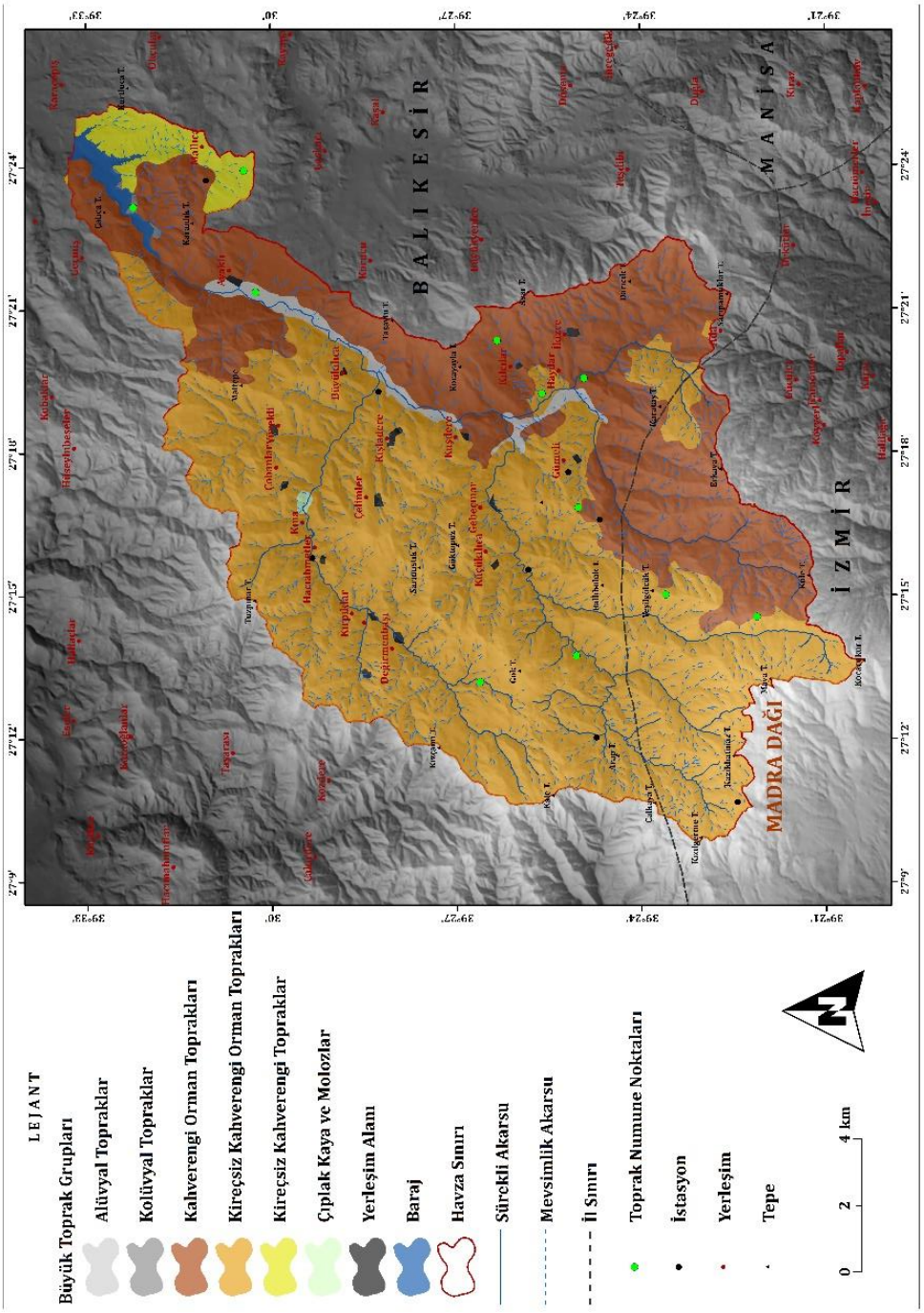
Erozyon çalışmalarında toprağın aşınabilirlik derecesini belirlemek amacıyla yaygın olarak kullanılan parametrelerden biri toprak erodibilite faktörü (K faktörü)'dür. K faktörü; toprağın yağış damlalarının darbe etkisine ve yüzey akışına karşı gösterdiği direnci ifade etmekte olup, toprak özelliklerinin erozyon üzerindeki etkisini sayısal olarak değerlendirmeye olanak sağlamaktadır. Bu kapsamda çalışma alanında yayılım gösteren toprak gruplarına ait fiziksel ve kimyasal analizler değerlendirilmiş; tekstür, organik madde, strüktür ve geçirgenlik özellikleri dikkate alınarak Foster eşitliği yardımıyla K faktörü hesaplanmıştır.

Bu bölümde Ardıçtepe Barajı Havzası'nda yayılım gösteren toprak gruplarının özellikleri incelenmiş, laboratuvar analiz sonuçları değerlendirilmiş ve erozyon duyarlılığı bakımından toprakların aşınabilirlik özellikleri ortaya konulmuştur.

4.1.1.2.1. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın Toprak Özellikleri

Ardıçtepe Barajı Havzası'nda yayılım gösteren büyük toprak grupları; alüvyal topraklar, kolüvyal topraklar, kahverengi orman toprakları, kireçsiz kahverengi orman toprakları, kireçsiz kahverengi topraklar ile sınırlı alanlarda görülen çıplak kaya ve molozlardan oluşmaktadır. Havza genelinde en geniş yayılışa sahip toprak grubunu 161,739 km² ile kireçsiz kahverengi orman toprakları oluşturmaktadır. Bunu 80,822 km² ile kahverengi orman toprakları takip etmektedir. Buna karşılık alüvyal topraklar 4,289 km², kolüvyal topraklar ise yalnızca 0,241 km² gibi oldukça sınırlı alanlarda yayılım göstermektedir. Çıplak kaya ve moloz alanları 0,249 km², yerleşim alanları ise 1,034 km² büyüklüğündedir. Baraj alanı ise 2,184 km²'lik bir yüzey kaplamaktadır (Tablo 25 ve Şekil 26). Bu dağılış, havzada topoğrafik koşulların ve litolojik farklılıkların toprak oluşumu üzerinde belirleyici olduğunu göstermektedir.

Havzanın kuzey ve orta kesimlerinde geniş alan kaplayan kireçsiz kahverengi orman toprakları çoğunlukla sedimanter kayaçlar üzerinde gelişim göstermektedir. Bu topraklar orta derecede kil ve silt içeriğine sahip olup organik madde bakımından nispeten daha zengin özellik göstermektedir. Organik madde miktarının agregat stabilitesini artırması ve infiltrasyon kapasitesini desteklemesi nedeniyle söz konusu toprakların K faktörü değerleri orta seviyelerde değerlendirilmiştir. Bununla birlikte havzanın önemli bir bölümünü kaplamaları nedeniyle toplam erozyon duyarlılığı açısından kritik bir role sahip oldukları düşünülmektedir. Özellikle eğim değerlerinin arttığı yamaç kesimlerinde yüzey akışının hızlanmasıyla birlikte bu topraklarda çizgisel erozyon ve yüzey aşınımı riskinin arttığı söylenebilir.



Şekil 26. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın Toprak Haritası

Kaynak: Orijinal

Tablo 25. Ardıçtepe Barajı Havzası'nda Yer Alan Büyük Toprak Grupları ve Kapladıkları Alanlar

Büyük Toprak Grupları	Alan (km^2)	Oran (%)
Alüvyal Topraklar	4,289	1,67
Kolüvyal Topraklar	0,241	0,09
Kahverengi Orman Toprakları	80,822	31,40
Kireçsiz Kahverengi Orman Toprakları	161,739	62,83
Kireçsiz Kahverengi Topraklar	6,843	2,66
Çıplak Kaya ve Molozlar	0,249	0,10
Yerleşim Alanı	1,034	0,40
Baraj	2,184	0,85

Kaynak: Orijinal

Kahverengi orman toprakları ise özellikle havzanın güney ve güneydoğu kesimlerinde metamorfik kayaçlar üzerinde yayılım göstermektedir. Bu toprakların kil oranlarının daha yüksek, organik madde miktarlarının ise düşük olması nedeniyle geçirgenlik özelliklerinin nispeten zayıfladığı değerlendirilmektedir. Bu durum yüzey akışını artırarak erozyon duyarlılığını yükseltmektedir. Ayrıca metamorfik kayaçların ayrışması sonucu oluşan ince materyalin yüzey akışı ile kolay taşınabilmesi, özellikle eğimli sahalarda toprak kayıplarını artırabilmektedir. Havzada yaklaşık 80,822 km²'lik (Tablo 25 ve Şekil 26) alan kaplayan bu toprak grubu, yüksek eğim koşulları ile birlikte değerlendirildiğinde erozyon açısından hassas alanlardan biri olarak öne çıkmaktadır.

Kireçsiz kahverengi topraklar havzada 6,843 km²'lik (Tablo 25 ve Şekil 26) sınırlı bir alanda görülmekte olup daha çok plato ve geçiş sahalarında yayılım göstermektedir. Kum oranının yüksek olması ve organik madde miktarının düşük olması nedeniyle agregat stabiliteleri nispeten zayıftır. Bu nedenle yağışın şiddetlendiği dönemlerde parçalanma ve yüzey taşınımı daha kolay gerçekleşebilmektedir. Bununla birlikte geçirgenlik özelliklerinin orta düzeyde olması, bazı alanlarda infiltrasyonu destekleyerek yüzey akışını kısmen sınırlandırmaktadır. Bu toprakların erozyon duyarlılığı orta-yüksek seviyede değerlendirilmiştir.

Alüvyal topraklar havzanın taban kesimlerinde ve akarsu vadileri boyunca yaklaşık 4,289 km²'lik alan kaplamaktadır. Genellikle akarsular tarafından taşınan genç materyaller üzerinde gelişen bu topraklar gevşek yapılı ve kum oranı yüksek özellik göstermektedir. Geçirgenliklerinin yüksek olması nedeniyle yüzey akışı sınırlanabilmekte olsa da agregat stabilitesinin zayıf olduğu alanlarda özellikle taşkın dönemlerinde önemli miktarda sediment taşınımı meydana gelebilmektedir. Bununla birlikte topoğrafyanın daha düşük eğimli olması nedeniyle havzanın dik yamaç kesimlerine kıyasla erozyon şiddetinin daha sınırlı olduğu düşünülmektedir.

Kolüvyal topraklar ise havzada oldukça sınırlı bir alan kaplamakta (0,241 km²) ve daha çok yamaç eteklerinde görülmektedir. Bu topraklar üst kesimlerden taşınan heterojen materyalin birikmesiyle oluşmuş genç topraklardır. Tekstürel bakımdan düzensiz yapı göstermeleri ve zayıf horizon gelişimine sahip olmaları nedeniyle erozyona karşı duyarlı özellik taşımaktadır. Özellikle eğimli sahalarda yoğun yüzey akışı ile birlikte yeniden taşınmaya açık hale gelmektedirler. Ancak kapladıkları alanın oldukça küçük olması nedeniyle havza genelindeki toplam sediment üretimine katkılarının sınırlı olduğu düşünülmektedir.

Çıplak kaya ve moloz alanları ise havzanın çok küçük bir bölümünü oluşturmaktadır. Bu alanlarda toprak gelişimi oldukça zayıf olduğundan klasik anlamda bir K faktörü değerlendirmesi yapmak güçleşmektedir. Buna rağmen yüzey örtüsünün bulunmaması nedeniyle yağışın doğrudan yüzeye etkisi artmakta ve fiziksel ayrışma süreçleri hızlanmaktadır. Özellikle eğimli kesimlerde kaya parçalarının hareketi ve yüzey materyalinin taşınması lokal sediment üretimini artırabilmektedir.

Yerleşim alanları için ise K faktörü değeri genellikle sıfır veya sıfıra yakın kabul edilmektedir. Bunun temel nedeni, yerleşim alanlarında doğal toprağın büyük ölçüde beton, asfalt ve yapılaşma unsurları ile örtülmüş olmasıdır. Bu durum doğrudan toprak aşınabilirliğini ortadan kaldırmakta ve klasik erozyon süreçlerinin gerçekleşmesini büyük ölçüde engellemektedir. Ayrıca yerleşim alanlarında doğal infiltrasyon süreçleri önemli ölçüde değişime uğradığından, bu alanlar tarımsal veya doğal toprak sınıflarından farklı değerlendirilmektedir. Bu nedenle MPSIAC ve benzeri erozyon modellerinde yerleşim alanları çoğunlukla erodibilite bakımından "0" değeri ile temsil edilmektedir.

Çıplak kaya ve moloz alanlarında gelişmiş bir toprak profili bulunmamasına rağmen fiziksel ayrışma ve yüzey materyali hareketi devam etmektedir. Bu nedenle söz konusu alanlar tamamen erozyonsuz kabul edilmemiş, düşük düzeyde erodibiliteyi temsil edecek şekilde düşük K faktörü değeri atanmıştır.

4.1.1.2.2. Numunelerin Konumlandırılması ve Laboratuvar Analizleri

Ardıçtepe Barajı Havzası'nda gerçekleştirilen toprak örnekleme çalışmaları sırasında, havzada yayılım gösteren tüm büyük toprak gruplarının temsil edilmesine özen gösterilmiştir. Bu kapsamda alüvyal topraklar, kolüvyal topraklar, kahverengi orman toprakları, kireçsiz kahverengi orman toprakları ve kireçsiz kahverengi topraklardan numune alınmıştır. Örnekleme noktalarının belirlenmesinde yalnızca toprak tipi değil; topoğrafik özellikler, yükselti, eğim durumu, litolojik farklılıklar ve arazi kullanım özellikleri de dikkate alınmıştır. Böylece havzanın farklı morfolojik ve çevresel koşullarını temsil edebilecek dengeli bir örnekleme dağılımı oluşturulmuştur.

Numune noktaları havza geneline homojen şekilde dağıtılmaya çalışılmış, aynı toprak grubundan yalnızca tek bir noktadan örnek alınmasından kaçınılmıştır. Bunun temel amacı, toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerinde kısa mesafelerde ortaya çıkabilecek değişkenliği en aza indirerek analiz sonuçlarının havza genelini temsil etme gücünü artırmaktır. Özellikle eğim, bakı, ana materyal ve drenaj koşullarındaki farklılıkların toprak özellikleri üzerinde belirleyici olması nedeniyle, örnekleme noktalarının farklı topoğrafik birimler üzerinde konumlandırılmasına dikkat edilmiştir. Örnekleme noktalarının belirlenmesinde temsil kabiliyeti esas alınmış, böylece laboratuvar analizlerinden elde edilen verilerin havza geneline uygulanabilir ve karşılaştırılabilir olması amaçlanmıştır. Bu yaklaşım sayesinde elde edilen verilerin mekânsal güvenilirliği artırılmıştır.

Arazi çalışmaları sırasında örnekleme noktalarının koordinatları GPS yardımıyla kaydedilmiş ve örnekleme işlemleri belirli bir sistematik dahilinde gerçekleştirilmiştir. Numuneler, yüzey süreçlerinin etkisini temsil edecek şekilde üst toprak horizonundan alınmıştır. Örnekleme sırasında bitki örtüsü, arazi kullanım durumu, yüzey taşlılığı ve nem koşulları göz önünde bulundurulmuş; insan etkisinin yoğun olduğu veya doğal yapıyı bozabilecek alanlardan mümkün olduğunca

kaçınılmıştır. Böylece laboratuvar analizlerinde kullanılacak numunelerin doğal toprak özelliklerini yansıtması hedeflenmiştir.

Tablo 26. Ardıçtepe Barajı Havzası'ndaki Büyük Toprak Gruplarına Ait Fiziksel ve Kimyasal Analiz Sonuçları

				Tekstür (%)			
BTG	**pH**	**Kireç (%)**	**OM (%)**	**Kum**	**Silt**	**Kil**	**Bünye**
KKT	6,3	0,81 Düşük	1,23	67,28	18	14,72	SL
A	6,5	0,16 Düşük	2,35	71,28	8	20,72	SCL
KKOT	6,5	1,96 Düşük	5,97	61,28	14	24,72	SCL
KOT	7,2	2,77 Kireçli	0,36	51,28	18	30,72	SCL
K	6,8	1,12 Düşük	1,84	64,36	16	19,64	SCL

(**BTG**: Büyük toprak grupları, **KKT**: Kireçsiz kahverengi toprak, **A**: Alüvyal toprak, **KKOT**: Kireçsiz kahverengi orman toprağı, **KOT**: Kahverengi orman toprağı, **K**: Kolüvyal toprak, **OM**: Organik madde, **SL**: Sandy loam / Kumlu tın, **SCL**: Sandy clay loam / Kumlu killi tın).

Kaynak: Orijinal

Toprak örnekleri laboratuvar ortamında fiziksel ve kimyasal analizlere tabi tutulmuştur (Tablo 26). Bu kapsamda pH, kireç ($CaCO_3$), organik madde ve tekstür analizleri gerçekleştirilmiştir. Tekstür analizleri sonucunda kum, silt ve kil oranları belirlenmiş; elde edilen veriler MPSIAC modelinde kullanılan erodibilite (K) faktörünün hesaplanmasında değerlendirilmiştir. Organik madde miktarı ve tekstürel özellikler, toprakların agregat stabilitesi ve aşınıma karşı direnç düzeylerinin belirlenmesinde önemli parametreler olarak dikkate alınmıştır.

Arazi çalışmalarının yağışlı dönem koşullarında gerçekleştirilmiş olması bazı alanlarda erişim ve örnekleme açısından kısıtlılık oluşturmuştur. Özellikle sınırlı yayılışa sahip kolüvyal toprak alanlarında uygun örnekleme koşullarının sağlanamaması nedeniyle doğrudan numune alınamamıştır. Bununla birlikte ilgili

toprak grubuna ait özellikler, havzanın litolojik ve morfolojik yapısı ile literatürde benzer sahalarda yapılan çalışmalar dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

4.1.1.2.3. Büyük Toprak Gruplarının Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Ardıçtepe Barajı Havzası'nda yayılım gösteren büyük toprak gruplarının fiziksel ve kimyasal özellikleri (Tablo 26), havzadaki erozyon süreçlerinin anlaşılması açısından önemli veriler sunmaktadır. Toprakların pH, kireç, organik madde ve tekstürel özellikleri; infiltrasyon kapasitesi, agregat stabilitesi, yüzey akışı ve taşınabilirlik üzerinde doğrudan etkili olmaktadır. Bu nedenle laboratuvar analizlerinden elde edilen bulgular, havzadaki erozyon duyarlılığının değerlendirilmesinde temel parametreler arasında yer almaktadır.

Kireçsiz kahverengi topraklar hafif asidik karakter göstermekte olup pH değeri 6,3 olarak belirlenmiştir. Kireç oranının %0,81 ile düşük seviyede olması, bu toprakların karbonat bakımından fakir bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Organik madde miktarının %1,23 gibi düşük bir değerde olması ise agregat stabilitesinin zayıflamasına ve toprağın yüzey akışı karşısında daha hassas hale gelmesine neden olmaktadır. Tekstürel açıdan kum oranının yüksek olması (%67,28), infiltrasyonu desteklemekle birlikte ince materyalin yüzey akışıyla kolay taşınabilmesine ortam hazırlamaktadır. Bu nedenle özellikle eğimli sahalarda söz konusu toprak grubunun orta derecede erozyon duyarlılığı taşıdığı değerlendirilmektedir.

Alüvyal toprakların pH değeri 6,5 olup hafif asidik özellik göstermektedir. Kireç oranının %0,16 gibi oldukça düşük seviyede bulunması, taşınan materyalin karbonat bakımından zayıf olduğunu ortaya koymaktadır. Organik madde miktarı %2,35 ile diğer bazı toprak gruplarına göre daha yüksek değer göstermektedir. Bu durum agregat oluşumunu destekleyerek toprağın yapısal dayanımını artırmaktadır. Bununla birlikte kum oranının %71,28 ile oldukça yüksek olması, gevşek yapılı bir karakter ortaya çıkarmaktadır. Akarsu tabanlarında ve taşkın ovalarında yayılım gösteren bu topraklar, düşük eğim koşullarında nispeten daha az erozyona uğrasa da taşkın dönemlerinde sediment taşınımına açık hale gelebilmektedir.

Kireçsiz kahverengi orman topraklarının pH değeri 6,5 olarak belirlenmiş olup hafif asidik özellik gösterdiği anlaşılmaktadır. Kireç oranının düşük (%1,96) olması,

bu toprakların yıkanmanın etkili olduğu nemli koşullar altında geliştiğini düşündürmektedir. Organik madde miktarının %5,97 ile havzadaki en yüksek değere sahip olması dikkat çekicidir. Organik maddece zengin yapı, toprağın agregat stabilitesini artırmakta, infiltrasyonu desteklemekte ve yüzey akışını kısmen azaltmaktadır. Bununla birlikte bu toprakların geniş alan kaplaması ve çoğunlukla eğimli sahalarda bulunması nedeniyle yüksek eğim koşullarında yüzey erozyonu yine de etkili olabilmektedir. Tekstürel olarak SCL (kumlu killi tın) bünyeye sahip olması, su tutma kapasitesi ile geçirgenlik arasında dengeli bir yapı oluşturduğunu göstermektedir.

Kahverengi orman toprakları ise havzadaki diğer toprak gruplarına göre daha yüksek pH değerine (7,2) sahiptir. Bu durum toprağın nötre yakın hatta hafif alkalin karakter kazandığını göstermektedir. Kireç oranının %2,77 ile diğer toprak gruplarına göre daha yüksek olması, ana materyalin karbonat içeriğiyle ilişkili görünmektedir. Buna karşılık organik madde miktarının yalnızca %0,36 olması dikkat çekmektedir. Organik madde eksikliği toprağın yapısal dayanımını azaltmakta ve agregatların parçalanmasını kolaylaştırmaktadır. Ayrıca kil oranının %30,72 ile yüksek olması, geçirgenliği azaltarak yüzey akışını artırabilmektedir. Özellikle eğimli yamaçlarda bu durum yüzey erozyonunun şiddetlenmesine neden olabilmektedir. Bu nedenle kahverengi orman topraklarının havzadaki erozyona karşı hassas toprak gruplarından biri olduğu değerlendirilmektedir.

Kolüvyal topraklar ise yamaçlardan taşınan materyalin birikmesiyle oluşmuş genç topraklar olup pH değeri 6,8 olarak belirlenmiştir. Kireç oranının %1,12 ile düşük seviyede olduğu, organik madde miktarının ise %1,84 düzeyinde bulunduğu görülmektedir. Organik madde miktarının düşük olması ve taşınmış materyalin heterojen yapısı nedeniyle bu toprakların agregat stabilitesi zayıf özellik göstermektedir. Kum oranının yüksek olması (%64,36) geçirgenliği artırırken, ince materyalin yüzey akışıyla kolay taşınmasına neden olabilmektedir. Özellikle eğimli yamaç eteklerinde görülen bu toprakların şiddetli yağış koşullarında yeniden taşınmaya açık olduğu ve erozyon süreçlerine duyarlı bir karakter taşıdığı düşünülmektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, havzadaki toprakların büyük bölümünün düşük kireç içeriğine ve hafif asidik özelliklere sahip olduğu anlaşılmaktadır. Organik madde miktarındaki farklılıklar ise erozyon duyarlılığı üzerinde belirleyici rol

oynamaktadır. Organik madde bakımından zengin topraklar daha dayanıklı yapı gösterirken, organik maddece fakir ve yüksek eğimli alanlarda yayılım gösteren toprakların erozyona karşı daha hassas olduğu belirlenmiştir. Bunun yanında tekstürel özellikler ve topoğrafik koşullar birlikte değerlendirildiğinde, özellikle yamaç sahalarında yüzey akışı ve sediment taşınımının önemli ölçüde arttığı sonucuna ulaşılmıştır.

4.1.1.2.4. MPSIAC Toprak Faktörü (X_2)

K faktörü hesaplamaları için Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak İnceleme Laboratuvarı tarafından elde edilen analiz sonuçları kullanılmıştır. K faktörü hesaplamalarında Foster ve arkadaşları (1981) tarafından önerilen eşitlik şu şekildedir:

$$\boldsymbol{K = [2,8 * 10^{-7} * M^{1,14} * (12 - a)] + [4,3 * 10^{-3} * (b - 2)] + [3,3 * (c - 3)]}$$

- **M** = Partikül boyutu
- **a** = Organik madde içeriği (%)
- **b** = Toprak strüktür kodu
- **c** = Toprak geçirgenlik sınıfı

Bu parametreler, her numune için laboratuvar ve arazi gözlemleriyle belirlenmiş; ortalama M değerleri, a, b ve c parametreleriyle birlikte eşitlikte kullanılarak her büyük toprak grubu için K faktörü değerleri hesaplanmıştır. Böylece K faktörünün belirlenmesi hem toprak fiziksel özellikleri hem de yapısal–hidrolik özellikler dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.

Foster Eşitliği'nin uygulanması:

1. İlk adım "M" değerinin bulunması (Tablo 27): Silt, kum ve kil değerleri (%) laboratuvar analiz sonuçlarından direkt alınmıştır. Eğer analizlerde ayrım yapılmadıysa kum yüzdesi genel olarak "iyi gelişmiş kum" kabul edilmektedir. "M" değerinin hesaplanmasında uygulanan formül:

$$\boldsymbol{M = \{silt\ (\%) + iyi\ gelişmiş\ kum\ (\%)\} * \{100 - kil\ (\%)\}}$$

Tablo 27. M / Partikül Boyutu Değerinin Bulunması

BTG Sembol	BTG	Silt (%)	Kum (%)	Kil (%)	M
KKT	Kireçsiz kahverengi toprak	18	67,28	14,72	7272,68
A	Alüvyal toprak	8	71,28	20,72	6285,32
KKOT	Kireçsiz kahverengi orman toprağı	14	61,28	24,72	5667,08
KOT	Kahverengi orman toprağı	18	51,28	30,72	4799,72
K	Kolüvyal toprak	16	64,36	19,64	6457,73

Kaynak: Orijinal

2. Eşitlikte yer alan ilk köşeli parantezin hesaplanması (Tablo 28):

- $10^{-7} = 0,0000001$
- 2,8 * 0,0000001 = 0,00000028
- a = Organik madde içeriğini (%) ifade etmektedir. Eşitlikte yer alan bu simgeye yazılacak değer laboratuvar analiz sonuçlarından direkt olarak alınmıştır.
- Tabloda "Sonuç" olarak belirtilen kısım, üçüncü ve dördüncü sütundaki değerlerin çarpımıdır.

Tablo 28. Foster Eşitliği'nde Yer Alan İlk Köşeli Parantezin Hesaplanması

BTG Sembol	$M^{1,14}$	$M^{1,14}$ *0,00000028	12-a	Sonuç
KKT	25045,67	0,007012788	10,77	0,075527722
A	21377,74	0,005985767	9,65	0,057762653
KKOT	19008,96	0,005322509	6,03	0,032094728
KOT	15616,93	0,00437274	11,64	0,050898698

Tablo 28 - devamı

K	22159,84	0,006204755	10,16	0,063040313

Kaynak: Orijinal

3. Eşitlikte yer alan ikinci köşeli parantezin hesaplanması (Tablo 29 ve 30):

Eşitlikte yer alan "b" için, toprak strüktür kodu girilmelidir. Bu kod laboratuvar analiz sonuçlarından elde edilmemektedir. Toprak strüktür kodlarının belirlenmesinde toprakların tekstürel özellikleri, organik madde miktarları, agregat gelişimi ve arazi gözlemleri birlikte değerlendirilmiştir. Kum oranının yüksek ve organik madde miktarının nispeten düşük olduğu kireçsiz kahverengi toprakların orta derecede gelişmiş granüler yapı gösterdiği kabul edilmiş ve bu toprak grubuna orta–iri granüler yapıyı temsil eden 3 kodu verilmiştir. Alüvyal topraklar ise genç oluşumlu, gevşek yapılı ve nispeten daha iyi agregatlaşabilen özellik göstermesi nedeniyle ince granüler yapı sınıfında değerlendirilmiş ve 2 kodu atanmıştır. Organik madde miktarının yüksek olduğu kireçsiz kahverengi orman topraklarında agregat stabilitesinin daha güçlü olduğu düşünülmüş, bu nedenle söz konusu toprak grubuna da ince granüler yapıyı temsil eden 2 kodu verilmiştir. Kahverengi orman topraklarında ise organik madde miktarının düşük ve kil oranının yüksek olması nedeniyle daha bloklu ve sıkı bir yapı geliştiği değerlendirilmiş, bu nedenle 4 kodu uygun görülmüştür. Kolüvyal topraklar ise taşınmış materyalden oluşan heterojen ve zayıf horizonlaşmış yapıları nedeniyle orta derecede granüler özellik göstermektedir. Bu doğrultuda kolüvyal topraklar için 3 kodu kullanılmıştır (Wischmeier ve Smith, 1978; Brady ve Weil, 2016) (Tablo 29).

Tablo 29. Büyük Toprak Grupları ve Strüktür Özellikleri

BTG	Strüktür Özellikleri	Strüktür Kodu
KKT	Orta yoğunlukta bloklu ve granüler karışık yapı	3
A	İnce yapılı, yer yer tınlı, hafif granüler yapı	2
KKOT	İnce yapılı, yer yer tınlı, hafif granüler yapı	2
KOT	Belirgin bloklu yapı gösteren, orta-iri agregatlı ve yer yer kompakt özellik sunan yapı	4
K	Orta yoğunlukta bloklu ve granüler karışık yapı	3

Kaynak: Orijinal

Hesaplamaya dahil edilecek katsayılar:

- $10^{-3} = 0,001$
- 4,3 * 0,001 = 0,0043
- Tablo 30'da yer alan "Sonuç" kısmı, ikinci ve üçüncü sütundaki değerlerin çarpımıdır.

Tablo 30. Foster Eşitliği'nde Yer Alan İkinci Köşeli Parantezin Hesaplanması

BTG Sembol	Sabit Katsayı	b-2	Sonuç
KKT	0,0043	1	0,0043
A	0,0043	0	0
KKOT	0,0043	0	0
KOT	0,0043	2	0,0086
K	0,0043	1	0,0043

Kaynak: Orijinal

4. Eşitlikte yer alan üçüncü köşeli parantezin hesaplanması (Tablo 31):

Eşitlikte yer alan "c" için, toprak geçirgenlik değeri girilmelidir. Bu kod laboratuvar analiz sonuçlarından elde edilmemektedir. Geçirgenlik değerinin belirlenmesi:

Foster eşitliğinde yer alan toprak geçirgenlik sınıfı (c), toprağın suyu geçirme kapasitesini ifade eder ve bu değer, toprak profilinin fiziksel özelliklerine, özellikle de doku bileşimi, yapısı ve gözeneklilik durumuna göre belirlenir. Çalışma alanından elde edilen laboratuvar analiz sonuçları incelendiğinde, beş ana toprak grubunun genel olarak kumlu tın, tın ve siltli tın gibi orta geçirgenlik özelliği taşıyan tekstür sınıflarına sahip olduğu belirlenmiştir. Aynı zamanda kil oranlarının %10–30 aralığında değiştiği, bu nedenle geçirgenliğin ne aşırı yavaş ne de çok hızlı olduğu gözlemlenmiştir. Saha gözlemleri de bu analizleri destekler niteliktedir.

Bu veriler doğrultusunda, çalışmada karşılaştırmalı analizlerin tutarlılığını sağlamak amacıyla tüm toprak gruplarına orta geçirgenlik sınıfı (c = 3) değeri verilmiştir. Bu tercih, aynı zamanda bilimsel literatürde genel kabul gören sistemlere dayanmaktadır. Özellikle Wischmeier ve Smith (1978) tarafından geliştirilen ve

Universal Soil Loss Equation (USLE) kapsamında tanımlanan geçirgenlik sınıfları, dünya genelinde yaygın şekilde kullanılmakta; daha sonra Renard vd. (1997) tarafından geliştirilen Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) modelinde de bu sınıflar aynen korunarak modernleştirilmiştir. Bahsi geçen kaynaklar, geçirgenlik sınıfını 1 (çok hızlı) ile 6 (çok yavaş) arasında derecelendirir ve bu sistem, erozyon modellemelerinde temel referans olarak kabul edilmektedir.

Bu yaklaşımla hem geçirgenlik değerinin bilimsel dayanağı sağlanmış hem de tüm gruplar için ortak bir değerlendirme çerçevesi oluşturularak K faktörü hesaplamalarında karşılaştırılabilirlik ve analitik bütünlük korunmuştur.

- Tablo ’de yer alan “Sonuç” kısmı, ikinci ve üçüncü sütundaki değerlerin çarpımıdır.

Tablo 31. Foster Eşitliği'nde Yer Alan Üçüncü Köşeli Parantezin Hesaplanması

BTG	Sabit Katsayı	c-3	Sonuç
KKT	3,3	0	0
A	3,3	0	0
KKOT	3,3	0	0
KOT	3,3	0	0
K	3,3	0	0

Kaynak: Orijinal

5. Eşitlikte yer alan tüm değerlerin toplanması (Tablo 32):

- Bu son aşamada ise, şu ana kadar bulunan tüm sonuçlar toplanarak K faktör değeri hesaplanır.

Tablo 32. Eşitlikte Yer Alan Tüm Değerlerin Toplanarak K Faktörünün Hesaplanması

BTG	1. Parantez	2. Parantez	3. Parantez	K Faktör
KKT	0,075527722	0,0043	0	0,080
A	0,057762653	0	0	0,058
KKOT	0,032094728	0	0	0,032
KOT	0,050898698	0,0086	0	0,059

Tablo 32 - devamı

K	0,063040313	0,0043	0	0,067

Kaynak: Orijinal

6. K faktör değerlerinin yorumlanması:

Ardıçtepe Barajı Havzası'nda hesaplanan K faktörü değerlerinin 0,032 ile 0,080 arasında değiştiği belirlenmiştir (Tablo 32). Elde edilen sonuçlar, havzadaki toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin erozyon duyarlılığı üzerinde önemli ölçüde etkili olduğunu göstermektedir. Özellikle organik madde miktarı, tekstür özellikleri, geçirgenlik ve strüktürel yapı farklılıklarının K faktörü üzerinde belirleyici olduğu anlaşılmaktadır. Havzada düşük organik madde içeriğine sahip ve kum oranı yüksek olan toprakların daha yüksek erodibilite değerleri gösterdiği tespit edilmiştir.

Kireçsiz kahverengi toprakların K faktörü değeri 0,080 olarak hesaplanmış olup havzadaki en yüksek erodibilite değerine sahip toprak grubu olduğu belirlenmiştir. Bu durumun temel nedeni, söz konusu toprakların düşük organik madde içeriğine (%1,23) ve yüksek kum oranına (%67,28) sahip olmasıdır. Organik madde miktarının düşük olması agregat stabilitesini zayıflatırken, yüksek kum oranı ince materyalin yüzey akışıyla daha kolay taşınmasına neden olmaktadır. Ayrıca bu toprakların bazı kesimlerde eğimli sahalarda yayılım göstermesi yüzey akışını artırarak erozyon riskini yükseltmektedir. Bu nedenle kireçsiz kahverengi toprakların havzadaki erozyona karşı hassas toprak gruplarından biri olduğu değerlendirilmektedir.

Alüvyal toprakların K faktörü değeri 0,058 olarak belirlenmiştir. Bu topraklar yüksek kum oranına (%71,28) sahip olmalarına rağmen organik madde miktarının (%2,35) nispeten daha yüksek olması nedeniyle orta düzeyde erodibilite özelliği göstermektedir. Akarsu tabanlarında ve vadi dolgularında gelişen alüvyal topraklar gevşek yapılı özellik göstermekte olup özellikle taşkın dönemlerinde sediment taşınımına açık hale gelebilmektedir. Bununla birlikte eğim değerlerinin düşük olması yüzey akışını kısmen sınırlandırmakta ve erozyon şiddetini azaltmaktadır.

Kireçsiz kahverengi orman topraklarının K faktörü değeri 0,032 ile havzadaki en düşük doğal erodibilite değerini göstermektedir. Bu durumun en önemli nedeni, organik madde miktarının oldukça yüksek (%5,97) olmasıdır. Organik madde

bakımından zengin yapı, toprağın agregat stabilitesini artırmakta, infiltrasyon kapasitesini desteklemekte ve yüzey akışını azaltmaktadır. Ayrıca bu toprakların tekstürel özelliklerinin dengeli bir yapı göstermesi de aşınıma karşı direncini artırmaktadır. Buna rağmen eğimli sahalarda yayılım göstermeleri nedeniyle topoğrafik koşulların etkisiyle yer yer yüzey erozyonunun etkili olabileceği düşünülmektedir.

Kahverengi orman topraklarının K faktörü değeri 0,059 olarak hesaplanmıştır. Bu toprak grubunda organik madde miktarının oldukça düşük (%0,36) olması dikkat çekmektedir. Organik madde eksikliği agregat oluşumunu zayıflatarak toprağın aşınıma karşı direncini azaltmaktadır. Ayrıca kil oranının yüksek olması (%30,72), geçirgenliği düşürerek yüzey akışını artırabilmektedir. Özellikle eğimli yamaç alanlarında bu durum erozyon şiddetini artırıcı bir etki oluşturmaktadır. Bu nedenle kahverengi orman topraklarının orta-yüksek düzeyde erozyon duyarlılığı taşıdığı değerlendirilmektedir.

Kolüvyal toprakların K faktörü değeri ise 0,067 olarak hesaplanmıştır. Yamaçlardan taşınan heterojen materyalin birikmesiyle oluşan bu genç topraklar, zayıf horizon gelişimi ve düzensiz tekstürel yapı göstermektedir. Organik madde miktarının düşük olması (%1,84) ve kum oranının yüksek olması (%64,36), bu toprakların yüzey akışı ile kolay taşınabilmesine neden olmaktadır. Özellikle eğimli yamaç eteklerinde yayılım gösteren kolüvyal toprakların yoğun yağış koşullarında yeniden taşınmaya açık olduğu ve bu nedenle erozyona karşı hassas özellik taşıdığı düşünülmektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, havzadaki K faktörü dağılışının büyük ölçüde organik madde miktarı, tekstürel özellikler ve topoğrafik koşullar tarafından kontrol edildiği anlaşılmaktadır. Organik madde bakımından zengin toprakların aşınıma karşı daha dirençli olduğu, buna karşılık düşük organik madde içeriğine sahip ve eğimli sahalarda yayılım gösteren toprakların daha yüksek erozyon riski taşıdığı belirlenmiştir. Bu durum, havzada erozyon süreçlerinin yalnızca topoğrafik koşullarla değil aynı zamanda toprak özellikleriyle de yakından ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır.

MPSIAC K Faktörünün Hesaplanması:

Foster eşitliği (1981) kullanılarak hesaplanan K değerleri, MPSIAC yöntemine uyarlanabilmesi için 16,67 katsayısı (PSIAC, 1968; Johnson ve Gebhardt, 1982) ile

çarpılmıştır (Tablo 33). Bu katsayı, PSIAC (Pacific Southwest Inter-Agency Committee, 1968) raporunda tanımlanan birim dönüşüm esaslarına dayanmaktadır. Böylece elde edilen değerler, MPSIAC modelinin erodibilite faktörü formatına uygun hâle getirilmiş ve analizin sonraki aşamalarında kullanılmıştır.

MPSIAC yönteminde K faktörü, toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak erozyona karşı duyarlılığını ifade eder. Foster eşitliği ile belirlenen K değerlerinin 16,67 katsayısı ile dönüştürülmesi, hesaplanan değerlerin MPSIAC puanlama sistemine ve modelin ölçek birimlerine uyumlu hâle getirilmesini sağlamaktadır.

Tablo 33. Foster ve MPSIAC K Faktör Değerleri

BTG	Foster K Faktörü	MPSIAC K Faktörü*
KKT	0,080	1,33
A	0,058	0,97
KKOT	0,032	0,53
KOT	0,059	0,98
K	0,067	1,12

*** MPSIAC K faktörü = Foster K × 16,67 (PSIAC, 1968; Johnson ve Gebhardt, 1982)**

Ardıçtepe Barajı Havzası'nın MPSIAC toprak faktörü haritası incelendiğinde (Şekil 27), havza genelinde K faktörü değerlerinin düşük ve yüksek duyarlılık arasında değiştiği görülmektedir. K faktörü, toprağın yağış ve yüzey akışına karşı aşınabilirlik derecesini ifade etmekte olup; tekstür, organik madde miktarı, geçirgenlik ve strüktür özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Havzada hesaplanan K değerleri yaklaşık 0,032–0,080 aralığında değişmekte olup, bu durum havza içerisindeki toprakların erozyona karşı farklı direnç özellikleri gösterdiğini ortaya koymaktadır. Özellikle kireçsiz kahverengi toprakların bulunduğu sahalarda K değerlerinin yükseldiği, buna karşılık kireçsiz kahverengi orman topraklarında daha düşük değerlere ulaşıldığı belirlenmiştir.

Haritada yüksek K faktörü değerlerinin özellikle havzanın doğu ve kuzeydoğu kesimlerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Bu alanlar büyük ölçüde kireçsiz kahverengi toprakların yayılım gösterdiği sahalara karşılık gelmektedir. Söz konusu toprakların

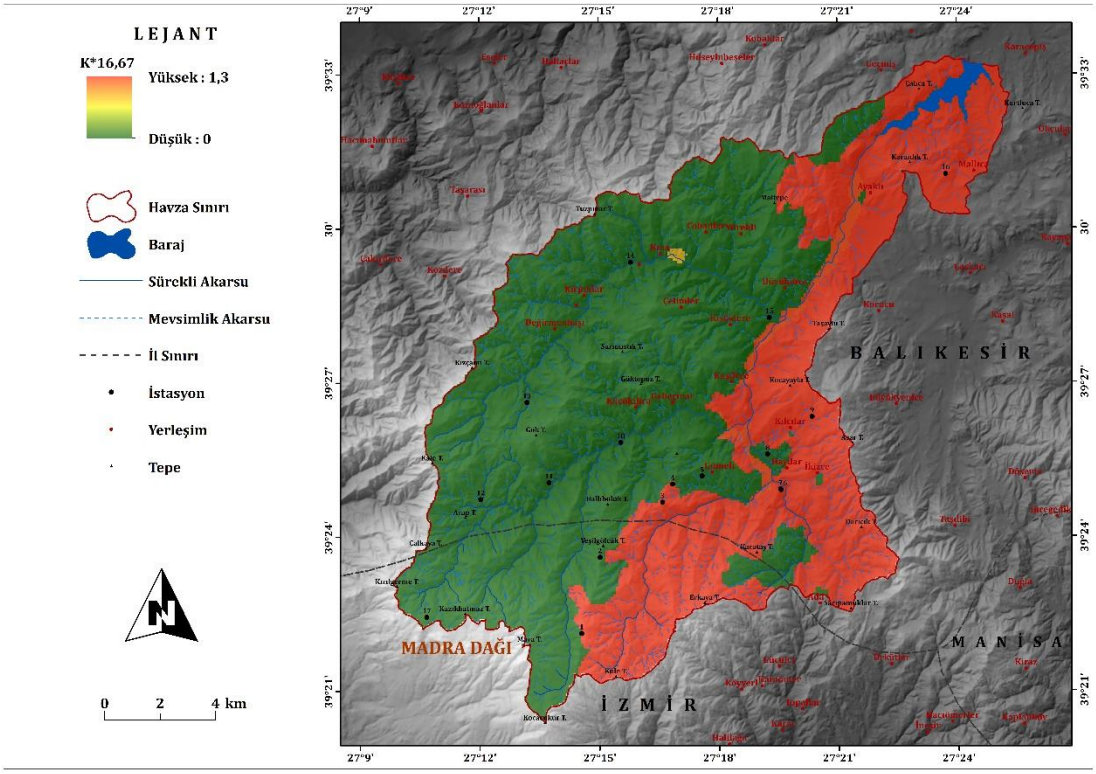
organik madde miktarının düşük olması, kum oranının yüksekliği ve granüler yapının zayıf gelişmesi, toprağın agregat dayanımını azaltarak erozyona karşı duyarlılığı artırmaktadır. Ayrıca bu alanların eğimli topoğrafik koşullarla çakışması, yüzey akışını hızlandırmakta ve toprağın taşınabilirliğini artırmaktadır. Bu nedenle havzanın doğu kesimleri, erozyon riskinin yüksek olduğu sahalar olarak değerlendirilebilir.

Buna karşılık havzanın batı ve orta kesimlerinde yayılım gösteren kireçsiz kahverengi orman toprakları ile kahverengi orman topraklarında K faktörü değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durum özellikle organik madde miktarının nispeten yüksek olması ve toprak yapısının daha stabil özellik göstermesiyle ilişkilidir. Organik madde miktarındaki artış, agregat oluşumunu destekleyerek infiltrasyonu artırmakta ve yüzey akışını azaltmaktadır. Özellikle orman örtüsünün yoğun olduğu sahalarda yağış damlalarının toprağa doğrudan etkisi zayıflamakta, böylece erozyonal süreçlerin şiddeti düşmektedir.

Alüvyal toprakların görüldüğü vadi tabanı ve akarsu çevrelerinde K faktörü orta düzeyde hesaplanmıştır. Bu durum, alüvyal materyalin ince taneli yapısı ile birlikte dönemsel olarak taşınan sedimentlerin oluşturduğu heterojen tekstür özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Her ne kadar eğim değerleri düşük olsa da, akarsu kenarlarında yüzey akışı ve kanal erozyonu etkili olabilmektedir. Bu nedenle özellikle taşkın dönemlerinde sediment taşınımı artış gösterebilir.

Kolüvyal toprakların bulunduğu sınırlı alanlarda ise K faktörü nispeten yüksek değerlere yaklaşmaktadır. Yamaçlardan taşınan gevşek materyalden oluşan bu toprakların yapısal açıdan zayıf olması, yüzey akışıyla kolay taşınabilmelerine neden olmaktadır. Özellikle eğimin yüksek olduğu yamaç eteklerinde kolüvyal materyalin erozyona karşı hassasiyet gösterdiği söylenebilir.

Haritada baraj alanı ve yerleşim alanları için K faktörü değeri “0” olarak, çıplak kaya ve moloz sahaları ise 0,05 olarak değerlendirilmiştir. Bunun temel nedeni, bu alanlarda doğrudan toprak materyalinin bulunmaması veya erozyona uğrayabilecek aktif bir üst toprağın gelişmemiş olmasıdır. Yerleşim alanlarında yüzeyin büyük ölçüde yapay materyallerle kaplanması infiltrasyonu sınırlandırırken, çıplak kaya alanlarında ise ayrışmış ince materyal miktarının son derece düşük olması nedeniyle klasik yüzey erozyonu gelişimi sınırlı kalmaktadır. Bu nedenle söz konusu alanlar MPSIAC modelinde aşınabilir toprak yüzeyi olarak değerlendirilmemiştir.



Şekil 27. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın MPSIAC Toprak Faktör Haritası

Kaynak: Orijinal

4.1.1.3. Yağış Erozyon (X_3) Faktörü

MPSIAC yönteminde yağış faktörü, RUSLE'de olduğu gibi yağışın kinetik enerjisine değil; bölgenin yıllık yağış rejimine, ekstrem yağışların görülme sıklığına ve yağışların yüzey akışını başlatma potansiyeline dayalı olarak değerlendirilir.

Yağış, yüzey erozyonunun başlamasında ve taşınacak malzemenin mobilizasyonunda etkili olan en temel iklim parametrelerinden biridir. Hidroklimatolojik süreçlerin belirleyici olduğu kurak ve yarı kurak bölgelerde özellikle yağışın şiddeti, süresi ve kinetik enerjisi, toprak parçacıklarının yerinden koparılması ve akışa katılması üzerinde doğrudan etkilidir. Bu nedenle yağışın erozyon üzerindeki etkisi hem klasik hem de modern erozyon modellerinde bağımsız bir faktör olarak ele alınmaktadır.

MPSIAC yönteminde "Yağış Erozyon Faktörü" bölgenin yıllık yağış miktarının, yağışın mevsimsel dağılımının, şiddetli yağışların frekans ve tekrar oranlarının ve özellikle fırtına karakterli yağışların yüzey akışını başlatma potansiyelinin değerlendirilmesiyle hesaplanmaktadır. Temel amaç, yağışın

oluşturabileceği fiziksel tahribatın ve yüzey akışını artırarak sediment üretimini hızlandırma kapasitesinin nicel olarak ifade edilmesidir.

Bu bağlamda yağış faktörü, yalnızca yıllık toplam yağışa değil; yağışın kinetik enerjisine, kısa süreli yüksek şiddetli yağışların görüldüğü periyotlara ve bölgenin iklim rejimine bağlı olarak gelişen erozyon oluşturma potansiyeline dayanmaktadır. MPSIAC modelinde yağış faktörünün yüksek olması, yüzey akışının artması ve toprak parçacıklarının daha kolay taşınabilir hâle gelmesi anlamına geldiğinden, modelin çıktılarını doğrudan etkileyen kritik bileşenlerden biridir.

Bu bölümde çalışma alanının yağış özellikleri ayrıntılı olarak ele alınacak; uzun yıllara dayalı meteorolojik veriler yardımıyla yağışın miktarı, şiddeti ve mevsimsel dağılımı analiz edilerek MPSIAC yöntemine uygun biçimde yağış erozyon faktörü hesaplanacaktır.

4.1.1.3.1. Uzun Yıllar Yağış Verileri

Bu çalışmada yağış erozyon faktörünün belirlenebilmesi amacıyla çalışma sahasına en yakın konumda yer alan İvrindi Meteoroloji İstasyonu'nun (240 m) uzun dönem yağış kayıtları değerlendirilmiştir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilen 2014–2022 yılları arasındaki aylık yağış verileri (Tablo 34), hem bölgenin yağış rejiminin karakterize edilmesi hem de yıllar içerisindeki değişimlerin ortaya konulması açısından temel veri kaynağını oluşturmaktadır. Bu kapsamda istasyona ait aylık ortalama yağış değerleri tablo hâlinde sunulmuş (Tablo 34); ayrıca ArcMap ortamında interpolasyon yöntemleri kullanılarak çalışma alanının alansal yağış dağılımını gösteren yağış haritası üretilmiştir (Şekil 28). Bu veriler, MPSIAC yönteminde yağış faktörünün doğru şekilde değerlendirilmesi için gerekli hidroklimatolojik temel altlığı sağlamaktadır.

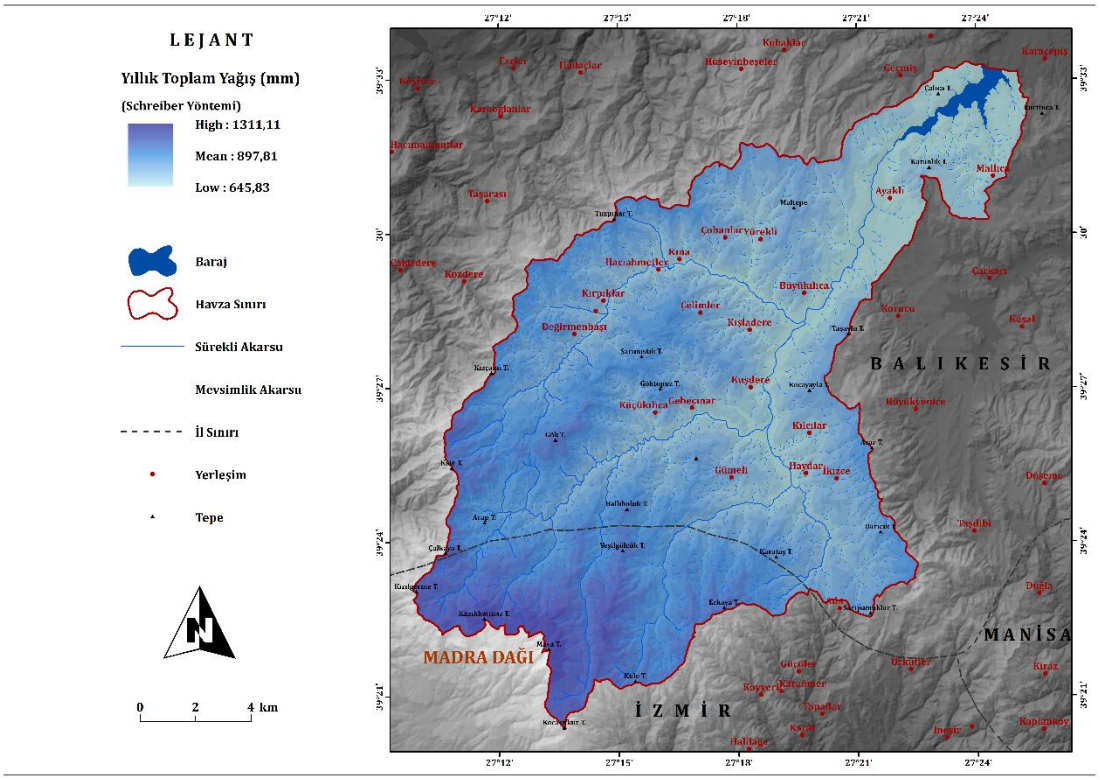
Tablo 34. İvrindi Meteoroloji İstasyonu Aylık Ortalama Yağış Verileri (8 Yıl)

O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Toplam
114,6	66,8	63,8	45,7	52,4	43,6	14,6	21,6	12	38,5	57,4	76	607

Kaynak: Orijinal

Çalışma alanına ait yıllık toplam yağış dağılımı, Schreiber yöntemi kullanılarak üretilen harita (Şekil 28) üzerinden değerlendirildiğinde, havza içerisinde

kuzeybatı–güneydoğu doğrultusunda belirgin bir yağış gradyanının geliştiği görülmektedir. Harita, yıllık yağış miktarının yaklaşık 645 mm ile 1311 mm arasında değiştiğini ortaya koymakta olup, bu aralık havzanın genel olarak yarı nemli iklim özellikleri taşıdığını işaret etmektedir. Yağışın sahadaki mekânsal düzeni incelendiğinde, dağılımın temel belirleyicisinin topoğrafik yükselti olduğu açıkça görülmektedir. Özellikle Madra Dağı'nın kuzey etekleri ile yüksek plato yüzeylerine karşılık gelen alanlarda yağış değerleri daha yüksek seyrederken, havzanın güney ve güneydoğu kesimlerinde, özellikle düşük yükseltilerin hâkim olduğu bölgelerde daha düşük yağış değerleri gözlenmektedir. Bu durum, sahada orografik yağış mekanizmasının etkin olduğunu göstermekte; Madra Dağı kütlesi nemli hava kütlelerinin yükselmesine ve buna bağlı olarak yoğunlaşmanın artmasına neden olarak yüksek kesimlerde yağış miktarını artırmaktadır.



Şekil 28. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın Yağış Haritası

Kaynak: Orijinal

Hidrografik ağın dağılımı da yağış haritasıyla uyumlu bir görünüm sergilemektedir. Mevsimlik ve sürekli akarsu ağlarının, daha yüksek yağış alan kuzey kesimlerde daha sık ve daha gelişmiş bir drenaj yapısı oluşturduğu dikkati çekmektedir. Bu durum, yağış artışının yüzey akışını güçlendirdiğini, havza drenajının

yağışın mekânsal dağılımına paralel biçimde geliştiğini ve yüksek yağış alan bölgelerin sediman üretimi açısından daha yüksek bir potansiyele sahip olabileceğini göstermektedir.

Yağış haritası, MPSIAC yöntemi kapsamında kullanılan yağış faktörünün doğru şekilde değerlendirilmesi açısından kritik bir bileşendir. Harita, havzadaki yağışın mekânsal heterojenliğini, yükseltiye bağlı farkları ve şiddetli yağışların yoğunlaşabileceği olası bölgeleri ortaya koyarak erozyon süreçlerinin daha gerçekçi biçimde analiz edilmesine olanak tanımaktadır. Bu çerçevede, yağışın en yüksek olduğu kuzey zonunda eğim ve litolojik koşullarla birleştiğinde erozyon riskinin daha yüksek düzeylere ulaşabileceği, buna karşın güneydeki düşük yağış zonlarında yağış kaynaklı erozyonun görece sınırlı kalabileceği değerlendirilmektedir.

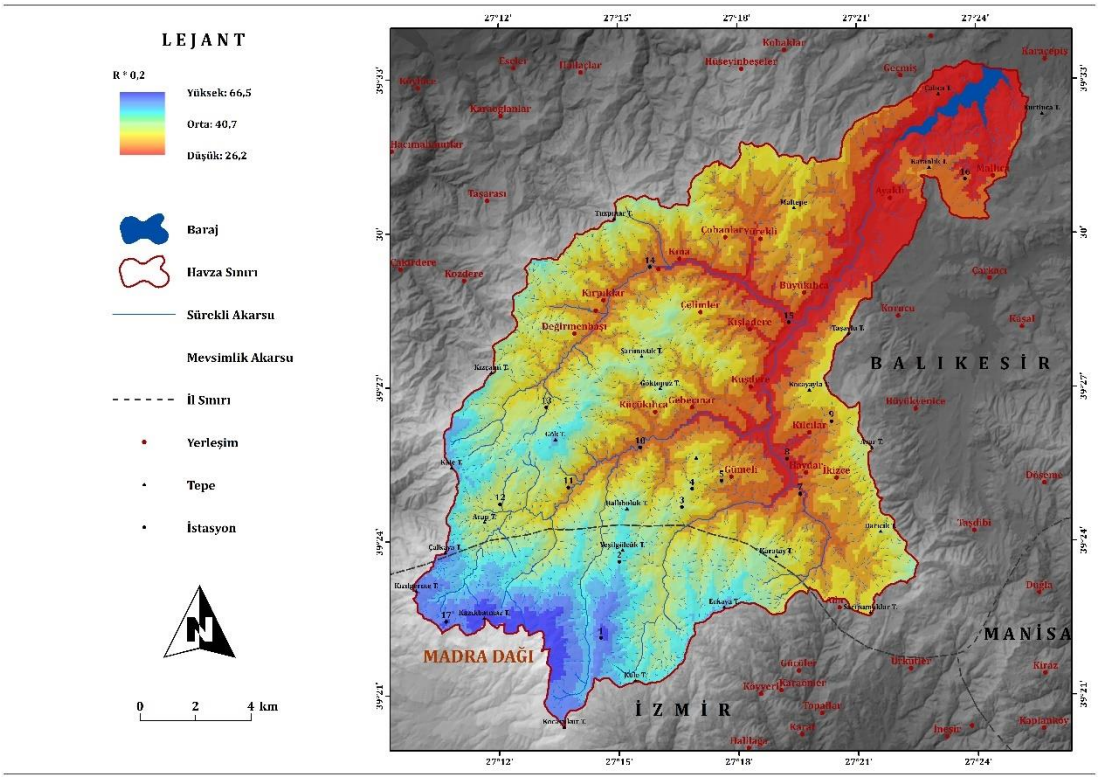
4.1.1.3.2. MPSIAC Yağış Faktörü Hesaplaması

MPSIAC yönteminde yağış erozyon faktörü, havza içerisinde yağışın miktarı, mevsimsel dağılımı ve yağış şiddesine bağlı olarak yüzey akışını tetikleme potansiyelini değerlendiren temel bileşenlerden biridir. Yağış, erozyon süreçlerinin başlamasında hem doğrudan hem dolaylı etkiler oluşturarak toprağın parçalanması, taşınması ve akışa geçmesi üzerinde belirleyici rol oynar. Bu nedenle havzanın yıllık yağış miktarı kadar yağışın zamansal ve mekânsal özellikleri de erozyonun şiddetini değiştirebilmektedir. Çalışma kapsamında yağış verileri, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ait İvrindi Meteoroloji İstasyonu'nun (240 m) 2014–2022 yılları arasındaki ölçümlerinden elde edilmiş ve bu veriler ArcMap ortamında işlenerek havzanın yıllık toplam yağış dağılımını gösteren harita üretilmiştir. Böylece yağışın havza boyunca nasıl farklılaştığı, yüksek ve düşük yağış zonlarının konumu ve bunların potansiyel erozyon süreçlerine etkisi daha somut şekilde ortaya konulmuştur. Elde edilen yıllık yağış değerleri, MPSIAC'ın iklim bileşenine uyarlanarak yöntemin gerektirdiği şekilde 0,2 katsayısı ile çarpılmış ve yağış erozyon faktörünün hesaplamalarında kullanılmıştır. Bu çerçevede yağış erozyon faktörü hem nicel yağış verilerine hem de yağışın sahadaki mekânsal dağılış karakterine dayalı olarak değerlendirilmiştir. Formül şu şekildedir (PSIAC, 1968; Johnson ve Gebhardt, 1982):

$$\boldsymbol{X_3 = 0,2 * \left[\sum^{12} i = 1 * 1,735 * 10^{(1,5\,log\,10\,(P2/P) - 0,082)}\right]}$$

Ardıçtepe Barajı Havzası'nda iklime bağlı olarak hesaplanan yağış erozyon faktörü değerleri, Schreiber yöntemine dayalı değerlendirme sonucunda 26,2–66,5 ton/ha/yıl arasında değişmekte olup havzanın ortalama değeri 40,7 ton/ha/yıl olarak belirlenmiştir (Şekil 29). Bu değerler, havzanın genel olarak orta düzeyde yağışa bağlı erozyon etkisi altında bulunduğunu göstermektedir. Yağış erozivitesindeki mekânsal değişimin temel nedeni, havzanın kuzeydoğudan güneybatıya doğru farklılaşan topografyasıdır. Schreiber formülü gereği her 100 m yükselti artışına karşılık yıllık yağış miktarının ortalama 54 mm artması, havzanın farklı kesimleri arasında yağış gücü bakımından belirgin bir gradyan oluşturmuştur. Bu nedenle, yüksek rakımlı ve nemli hava akımlarına daha açık olan eğimli yüzeylerde yağışın erozyon potansiyeli belirgin biçimde artarken, daha alçak ve konuma bağlı olarak yağışın zayıfladığı kesimlerde yağış faktörü daha düşük düzeyde gerçekleşmiştir.

Havzada yağış faktörünün en düşük değerlere ulaştığı alanlar özellikle kuzeydoğu kesimde, baraj çevresi ve Ayaklı–Mallıca hattında yoğunlaşmaktadır. Bu bölgelerde görülen 26 ton/ha/yıl düzeyine gerileyen yağış erozivitesi, yükseltinin azalması, topoğrafyanın daha basık hâle gelmesi ve Schreiber yönteminin yükseklikle ilişkili yapısı nedeniyle yağış miktarının düşmesiyle yakından ilişkilidir. Aynı zamanda bu kesimde yer alan alüvyal veya yarı geçirgen litolojilerin varlığı, yağışın önemli bir bölümünün infiltrasyona yönelmesine imkân tanıyarak yüzey akışına dönüşen su miktarını azaltmaktadır. Buna karşılık, havzanın güneybatısında Madra Dağı yönüne doğru uzanan kesimlerde yağış erozyon faktörü belirgin biçimde artmakta; Kazıkbatmaz Tepesi ve çevresi gibi yüksek kotlu ve eğimli yüzeylerde 66 ton/ha/yıl seviyesine ulaşmaktadır. Bu yükseltiye bağlı yağış artışı, yüzeysel akışın hızlanmasına ve yağışın erozyon potansiyelini güçlendirmesine neden olmaktadır. Bu alanlarda litolojinin geçirimsizliği ve arazi örtüsünün yer yer seyrekleşmesi, yağışın yüzey akışına dönüşmesini kolaylaştırmakta ve erozyon açısından kritik alanlar yaratmaktadır. Buna karşın güney ve güneybatıya doğru uzanan havza kesimlerinde, topoğrafyanın daha yumuşaması ve yağış miktarının azalmasıyla birlikte yağış faktörünün erozyon üzerindeki belirleyici etkisi de zayıflamaktadır.



Şekil 29. Ardıçtepe Barajı Havzası MPSIAC Yöntemine Göre Yağış Faktör Haritası

Kaynak: Orijinal

Genel olarak değerlendirildiğinde, Ardıçtepe Barajı Havzası'nda yağış erozyon faktörü hem topoğrafya hem jeoloji hem de toprak–arazi örtüsü ile güçlü bir mekânsal ilişki göstermektedir. Yüksek yağış faktörü değerleri eğimli, geçirimsiz ve orografik yağışa açık kuzey ve kuzeydoğu kesimlerde yoğunlaşırken; düşük değerler güneybatıdaki alçak kesimlerde ve daha geçirgen litolojiler üzerinde görülmektedir. Bu durum, havzanın erozyon potansiyeline ilişkin değerlendirmelerde yağış faktörünün özellikle kuzeydoğu bölümü için başat rol oynadığını, diğer MPSIAC parametreleriyle birlikte ele alındığında kritik erozyon zonlarının büyük ölçüde bu bölgelerde ortaya çıkacağını göstermektedir.

4.1.1.4. Akım / Debi (X_4) Faktörü

Yağışın mekânsal dağılımının belirlenmesinden sonra, yağış sonrası oluşan yüzey akışı ve bu akışın maksimum debi kapasitesi MPSIAC modelinin akım–debi faktörü kapsamında incelenmiştir. Bu faktör, havzada yağışın ne kadarının yüzeysel akışa dönüştüğünü ne kadarının infiltrasyona uğradığını ve akarsuların hangi koşullarda pik debi ürettiğini değerlendirmek açısından kritik öneme sahiptir.

Dolayısıyla akım–debi parametresi hem erozyonun şiddetini hem de sediman taşınımını doğrudan kontrol eden hidrografik bir göstergedir.

4.1.1.4.1. Ardıçtepe Barajı Havzası Akarsularının Morfometrik Özellikleri

Ardıçtepe Barajı Havzası'nın morfometrik özellikleri, havzanın hidrolojik işleyişini, yüzey akışının gelişimini ve erozyon süreçlerinin alansal dağılımını açıklayan temel göstergelerdir. Bir havzanın topografik ve hidrografik karakteri; drenaj yoğunluğu, akarsu sıklığı, havza şekli, tekstür oranı ve drenaj tekstürü gibi alansal ve çizgisel morfometrik parametreler ile; rölyef oranı, engebelilik değeri, hipsometrik eğri ve vadi taban yüksekliği gibi rölyef özellikleri aracılığıyla sayısal olarak ortaya konulabilir (Tablo 35, 36 ve 37). Bu parametreler, havzanın suyu nasıl topladığı, akarsu ağını nasıl örgütlediği ve yüzey malzemelerini ne ölçüde aşındırdığına ilişkin kapsamlı bilgiler sunar. Erozyon süreçlerinin seviyesi, hızı ve mekânsal yoğunluğu büyük ölçüde bu morfometrik yapıların birbiriyle etkileşimi sonucunda şekillenir.

Drenaj ağına ilişkin göstergeler, yüzey akışının havza geneline nasıl yayıldığını anlamada kritik öneme sahiptir. Drenaj yoğunluğu ve akarsu sıklığının yüksek olması, yüzey akışının kısa mesafede toplanarak belirli kollarda yoğunlaşmasına, böylece aşındırıcı gücün artmasına neden olur. Sık kollu ve kısa akarsu segmentlerinden oluşan ağlar, yüzeysel akışın hızla derelere aktarılmasını sağlayarak hem kanal oyulmasını hem de yamaç erozyonunu hızlandırır. Buna karşılık daha gevşek ve geniş aralıklı drenaj ağlarında akış daha yayvan bir şekilde ilerlediğinden erozyon etkisi daha zayıf olur. Havza şekli de suyun taşınma dinamiklerini belirleyen önemli bir etmendir; kompakt ve yuvarlak havzalar yoğun ve hızlı yüzey akışını teşvik ederken, daha uzun ve dar havzalar akışın belirli güzergâhlarda odaklanmasına ve erozyonun çizgisel nitelik kazanmasına zemin hazırlar.

Tablo 35. Baraj Havzasında Akarsuların Morfometrisinde Kullanılan Çizgisel Eşitlikler

Çizgisel Morfometri	Formüller	Değerler	Kaynak
Çatallanma Oranı (Rb) / Bifurcation Ratio	$R_b = N_u/N_{u+1}$	3,66	Schumm, 1956
Yüzeysel Akış Uzunluğu (L_o) / Length of Overland Flow	$L_O = 1/2D$	0,16	Horton, 1945
Dağ Önü Sinüsite (Smf) İndeksi / Mountain Front Sinuosity	Smf = Lmf / Ls	1,94	Bull, 1977
Tekstür Oranı (T) / Texture Ratio	$T = N_{u1}(1/P)$	15,01	Horton, 1945
Drenaj Tekstür Oranı (R_t) / Drainage Texture Ratio	$R_t = N_u / A$	7,61	Horton, 1945

Kaynak: Orijinal

Havzanın yükselti özelliklerini tanımlayan rölyef morfometrisi, erozyonun potansiyel enerjisini belirleyen en temel bileşendir. Rölyef oranı, engebelilik değeri ve yükselti frekansı gibi değişkenler; yamaçların eğimi, yükselti farkları ve arazi pürüzlülüğünün erozyon üzerindeki etkisini doğrudan yansıtır. Yüksek rölyefli alanlarda potansiyel enerji fazladır; bu durum yüzey akışını hızlandırarak hem mekanik aşınımı artırır hem de sediman taşınım kapasitesini yükseltir. Engebelilik ve hipsometrik analizler, havzanın gelişim evresini ve aşınım süreçlerinin ne ölçüde ilerlediğini göstermesi bakımından büyük önem taşır. Örneğin, genç ve yüksek rölyefli havzalarda akarsu yataklarının derine aşındırma eğilimi yüksekken, olgun havzalarda aşınım daha yayvan ve yanal yönde gerçekleşir.

Sonuç olarak, Ardıçtepe Barajı Havzası'nın morfometrik yapısı, erozyon süreçlerinin hem şiddetini hem de alansal dağılımını belirleyen temel unsurları ortaya koymaktadır. Morfometrik analizler yalnızca havzanın hidrografik ve topografik özelliklerini nicel olarak tanımlamakla kalmaz; aynı zamanda erozyon kontrolü, havza yönetimi ve arazi planlaması açısından kritik öneme sahip olan su akışı, sediment üretimi ve aşınım dinamiklerini anlamayı da mümkün kılar. Bu nedenle alansal, çizgisel ve rölyef morfometrik indekslerin birlikte değerlendirilmesi, havzanın

erozyon potansiyelini doğru ve bütüncül bir şekilde ortaya koymada zorunlu bir aşamadır.

Tablo 36. Baraj Havzasında Akarsuların Morfometrisinde Kullanılan Alansal Eşitlikler

Alansal Morfometri	Formüller	Değerler	Kaynak
Drenaj Yoğunluğu (D_d) / Drainage Density	$D_d = \Sigma L/A$	3,19	Horton 1932, 1945
Akarsu Sıklığı (F_s) / Stream Frequency	$F=D^2*0,694$	7,06	Scheidegger, 1961
Havza Şekli (R_F) / Basin Shape	$R_F = A / L_b^2$	0,37	Horton, 1932
Lemniskat (Kelebek Eğrisi) Oranı (K) / Lemniscate Ratio	$K = L_b^2 / 4A$	0,68	Zavoinau, 1985
Gravelius İndeksi (K_g) / Gravelius Index	$\boldsymbol{K_g = \frac{P}{\sqrt[2]{\pi * A}}}$	1,72	Gravelius, 2014
Asimetri Faktörü (AF) / Asymmetry Factor	$AF = 100 * (A_r / A_t)$	22,96	Hare ve Gardner, 1985

Kaynak: Orijinal

Tablo 37. Baraj Havzasında Akarsuların Morfometrisinde Kullanılan Rölyef Eşitlikleri

Rölyef Morfometri	Formüller	Değerler	Kaynak
Havza Rölyef (B_h) / Basin Relief	$B_h = H_{max} - H_{min}$	1103	Strahler, 1952a
Rölyef Oranı (R_h) / Relief Ratio	$R_h = B_h / L$	0,05	Schumm, 1956
Engebelilik Değeri (R_n) / Ruggedness Number	$R_n = B_h * D_d$	3,51	Melton, 1957 Strahler, 1958

Tablo 37 - devamı

V_f İndeksi / Valley Floor Width–Valley Height Ratio	$\frac{2 \cdot V_{fw}}{(E_{ld} - E_{sc}) + (E_{rd} - E_{sc})}$	0,91	Bull ve McFadden, 1977
Yükselti Frekans Histogramı / Elevation Frequency Histogram	Bir eşitlikten ziyade bir dağılım analizidir.	Karakteristik yükselti: 550-600 m	Baulig, 1939 Strahler, 1952b Clarke, 1966
Hipsometrik Eğri / Hypsometric Curve	H_c=h/H ve a/A	S Biçimli (Olgun Evre)	Strahler, 1952a
Hipsometrik İntegral / Hypsometric Integral	$H_i = H - H_{min} / H_{max} - H_{min}$	0,37	Pike ve Wilson, 1971 Mayer, 1990

Kaynak: Orijinal

4.1.1.4.1.1. Havza Akarsu Ağının Çizgisel Morfometrik Özellikleri

Bir akarsu havzasının çizgisel morfometrik özellikleri, havzanın drenaj ağının düzenini, akarsu kollarının hiyerarşik yapısını ve yüzey akışının topografya ile etkileşimini sayısal olarak ortaya koyan temel parametrelerdir. Çizgisel morfometri; çatallanma oranı, yüzeysel akış uzunluğu, drenaj tekstürü ve akarsu ağının gelişimini ifade eden diğer indeksler aracılığıyla, akarsuların havza içerisinde nasıl dağıldığını ve topografik birimlerle nasıl ilişkili olduğunu gösterir. Bu parametreler, akarsu ağının ne kadar sık dallandığını, akışın hangi güzergâhlarda yoğunlaştığını, yüzeydeki su hareketinin ne ölçüde doğrusal veya yayvan bir nitelik taşıdığını belirleyerek erozyon süreçleri üzerinde doğrudan etkili olur. Özellikle yüksek çatallanma oranı, yoğun drenaj tekstürü veya kısa yüzeysel akış uzunluğu gibi göstergeler, yüzey akışının hızlı ve yoğun şekilde akarsu yataklarına aktarılmasını sağlayarak hem kanal aşındırmasını hem de yamaç erozyonunu güçlendiren bir hidrodinamik yapı oluşturur. Bu nedenle çizgisel morfometri indisleri, havzanın jeolojik, litolojik ve topografik özellikleriyle birlikte değerlendirildiğinde, erozyon potansiyelini ve sediman taşınım kapasitesini anlamada kritik rol oynar. Ardıçtepe Barajı Havzası'nda çizgisel morfometrik

parametrelerin hesaplanması, drenaj ağının organizasyonunu çözümlerken aynı zamanda havzanın erozyon dinamiklerini belirleyen doğrusal akış süreçlerini bilimsel bir temele oturtmayı amaçlamaktadır.

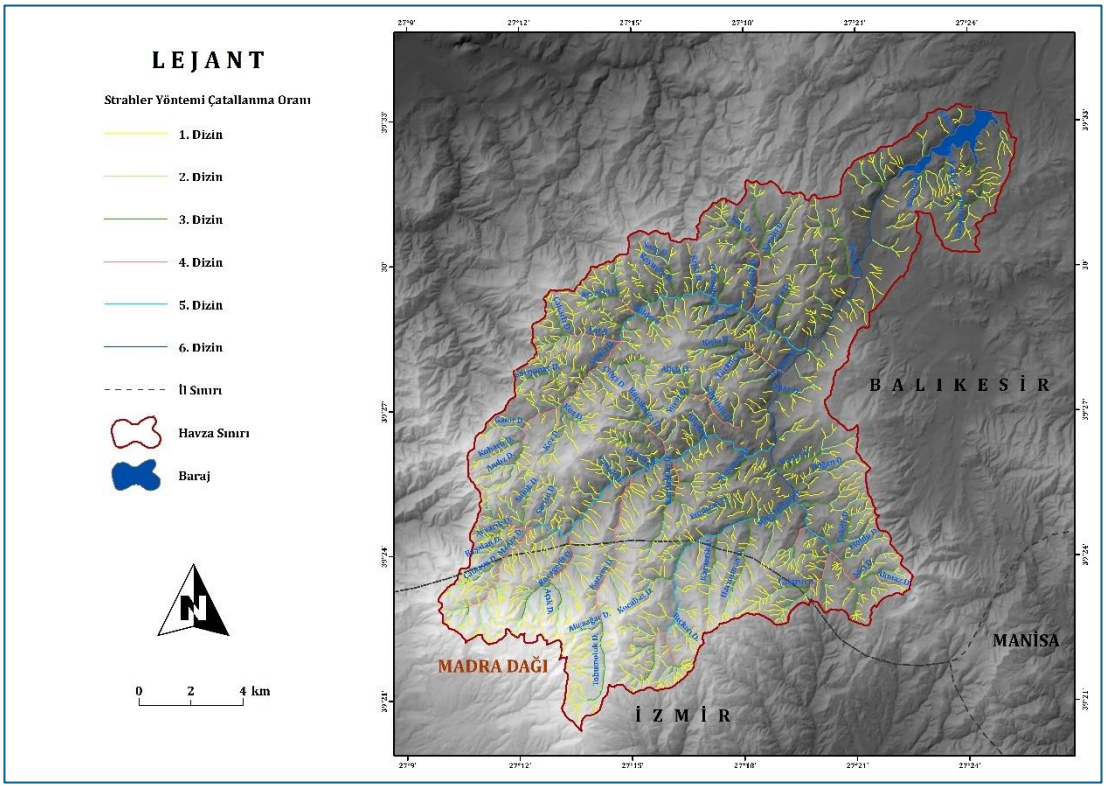
4.1.1.4.1.1.1. Çatallanma Durumu (R_b)

Çatallanma oranı (R_b), bir havzada belirli bir derecedeki akarsu sayısının, bir üst derecedeki akarsu sayısına oranlanmasıyla hesaplanmaktadır. Her akarsu derecesi için bu oran ayrı ayrı belirlenmekte; ardından, tüm derecelere ait değerlerin aritmetik ortalaması alınarak havzanın genel çatallanma oranı elde edilmektedir (Strahler, 1964). Yapılan çalışmalarda, çatallanma oranının genellikle 2 ile 5 arasında değişkenlik gösterdiği görülmektedir. İklim koşullarının ve litolojik özelliklerin homojen olduğu durumlarda, akarsu ağı gelişimi düzenli bir yapı sergilemekte ve çatallanma oranı dereceler arasında görece sabit bir değer göstermektedir. Bu bağlamda, düşük R_b değerine sahip havzalarda akım hidrografları genellikle daha dik eğimli ve kısa süreli akışlar şeklinde karakterize edilirken, yüksek Rb değerine sahip havzalarda ise daha uzun süreli ve düşük debili akışların gözlemlendiği, daha yatık eğimli hidrograf profilleri oluşmaktadır (Özdemir, 2011; Strahler, 1964).

Çalışma alanında her bir dizin için $R_b = N_u/N_{u+1}$ formülü (Strahler, 1964) uygulandıktan sonra havzanın ortalama çatallanma oranı 3,66 olarak hesaplanmıştır (Tablo 38 ve Şekil 30). Bu değer havzanın dirençli kayalara sahip olduğunu, geçirgenliğin düşük olduğunu ve havzada 1. dizin (1463), 2. dizin (388) ve 3. dizin (83) akarsu kollarının fazla olmasından dolayı havzanın homojen bir jeolojik yapıya sahip olduğunu göstermektedir.

Akarsuyun 1. dizin (1463) ve 2. dizin (388) kollarının arasında 1075 dizin farkı bulunmaktadır (Tablo 38). 2. dizin (388) ve 3. dizin (83) kollarının arasında ise 305 dizin farkı bulunmaktadır. Bu büyük farkların sebebi, akarsu havzasında taban seviyesi değişikliklerinden kaynaklanmaktadır. Fakat 3. dizinden sonra dizin sayısında önemli düşüşler olması ise tektonizma kaynaklıdır. Nitekim Gümeli'nin kuzeyinde, Haydar ve İkizce'nin güneyinde ve Kule Tepe dolaylarında doğrultu atımlı fay bulunmaktadır. Bununla birlikte Görür ve Karadeniz (2018)'in belirttiği doğrultuda; çatallanma oranında 1., 2. ve 3. dizinlerin fazla olmasının yanında 4., 5. ve 6. dizinlerin de bulunmasının havzada erozyonun yüksek olduğunun bir göstergesidir. Bununla

birlikte havzada çatallanma değerinin yüksek çıkması taşkın karakterli akımları da ifade etmektedir.



Şekil 30. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın Çatallanma Haritası

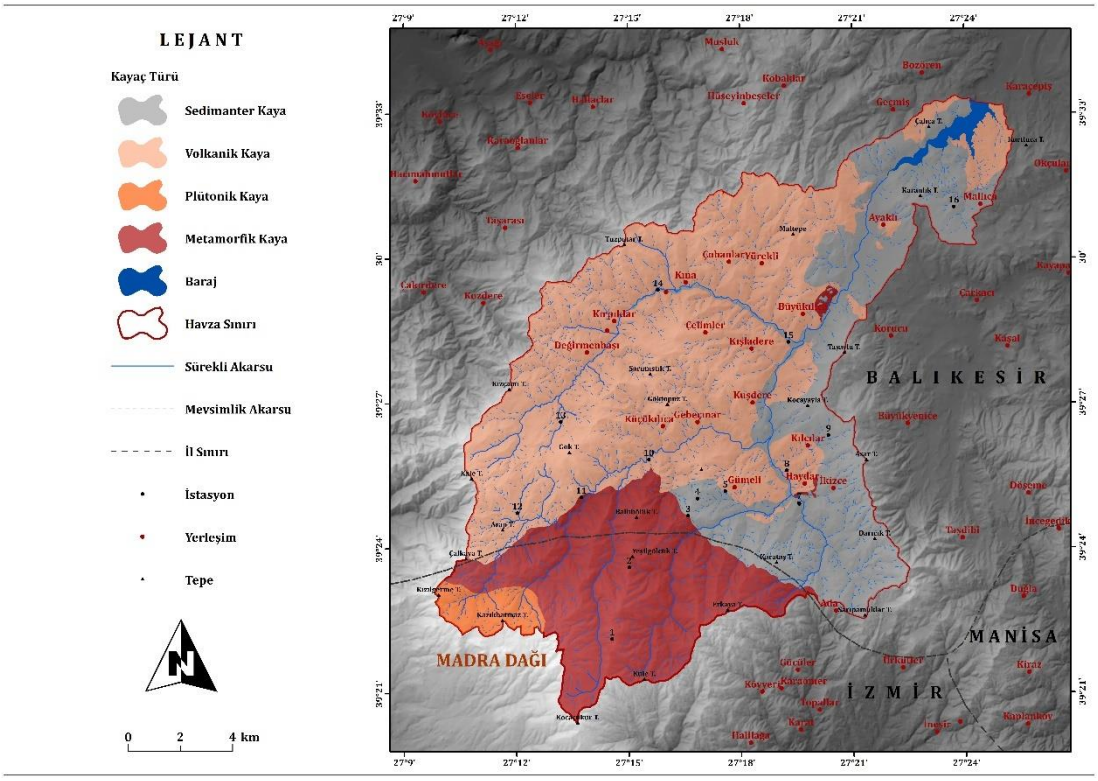
Kaynak: Orijinal

Tablo 38. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın Çatallanma Özellikleri

Dizin	Dizin Sayısı	Toplam Uzunluk (m)	Ortalama Uzunluk (m)	R_b Değeri (Çatallanma)
1	1463	462361	316	3,7
2	388	183765	474	4,6
3	83	82002	988	4,3
4	18	42564	2365	2,2
5	7	35062	5009	3,5
6	1	15326	15326	-

Kaynak: Orijinal

Ayrıca havzada volkanik kayaçların yer aldığı Maltepe, Tuzpınar T., Kızçamı T., Sarımıstık T., Göktopuz T., Gök T., Kale T. ve Arap Tepe dolayları ile metamorfik kayaçların yer aldığı Ballıbölük T., Yeşilgölcük T., Erkaya T., Kule T. ve Kocaçukur Tepe dolayları yüksek çatallanma oranına sahipken; sedimanter kayaçların yer aldığı Çalıca T., Karanlık T., Taşavlu T., Kocayayla T., Asar T., Darıcık T., Karataş T. ve Sarıpamuklar Tepe dolayları düşük çatallanma oranına sahiptir. Bu durum kayaçlar arasındaki geçirgenlik farklılıklarından kaynaklanmaktadır (Şekil 31).



Şekil 31. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın Kayaç Türü Haritası

Kaynak: Orijinal

4.1.1.4.1.1.2. Yüzeysel Akış Uzunluğu (L_o)

Yüzeysel akış uzunluğu, bir yağış damlasının topoğrafya boyunca yüzeyden akarak eğim kırılmasına, bir kanala veya havza çıkış noktasına ulaşıncaya kadar kat ettiği mesafeyi ifade eder ve erozyon süreçlerinin mekânsal dağılımını anlamada kritik bir parametredir. Bu uzunluk arttıkça, akışın topladığı su miktarı ve taşıma gücü de artar; böylece yüzeydeki ayrıştırma, taşıma ve biriktirme süreçleri daha belirgin hâle gelir. Ardıçtepe Barajı Havzası gibi topoğrafik çeşitliliğin yüksek olduğu alanlarda, yüzeysel akış uzunluğu erozyon riskinin hem şiddetini hem de mekânsal desenini

belirleyen temel etkenlerden biridir. Bu nedenle, akış uzunluğunun doğru hesaplanması, yüksek riskli yamaçların tanımlanması ve havza yönetimi açısından öncelikli müdahale alanlarının belirlenmesi için gerekli bilimsel temelini sağlar.

Drenaj yoğunluğu arttıkça (yani birim alanda daha fazla akarsu uzunluğu varsa), akışın kanala ulaşması için kat etmesi gereken mesafe azalır. Bu nedenle L_o, drenaj yoğunluğuyla ters orantılıdır. Formülün mantığı: Bir havzada drenaj ağı sık ise; yüzeysel akış daha kısa yol gider ve L_o küçülür. Drenaj ağı seyrek ise; su kanala ulaşana kadar daha uzun akar ve L_o büyür.

Formülün uygulanması (Horton, 1945):

$L_o = 1/2D$

L_o = Ortalama yüzeysel akış uzunluğu

D = Drenaj yoğunluğu

$L_o = 1 / 2 * 3,19$

$L_o = 1 / 6,38$

$L_o = 0,16$

Ardıçtepe Barajı Havzası için hesaplanan ortalama yüzeysel akış uzunluğu 0,16 km olup, bu değer havzanın yoğun bir drenaj ağına sahip olduğunu ve yüzeysel akışın çok kısa bir mesafede ana kanallara ulaştığını göstermektedir. Bu durum, akışın yüksek hızlarda gerçekleşmesine, sediment taşınımının kolaylaşmasına ve özellikle eğimli yamaçlarda erozyon riskinin artmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla düşük L_o değeri, havzanın erozyon açısından duyarlı bir morfolojik yapıya sahip olduğunu desteklemektedir.

4.1.1.4.1.1.3. Dağ Önü Sinüsite (Smf) İndeksi

Dağ Önü Sinüsite (Smf) İndeksi, dağlık alanlar ile ova ya da havza tabanları arasındaki temas çizgisinin ne ölçüde düz veya kıvrımlı olduğunu nicel olarak ifade eden önemli bir jeomorfolojik göstergedir. Tektonik olarak aktif bölgelerde dağ önleri genellikle düz ve keskin bir hat sergilerken, tektonik aktivitenin zayıf olduğu veya uzun süreli yüzey süreçlerinin etkisi altında kalan alanlarda bu sınır daha girintili–çıkıntılı, yani daha yüksek sinüsite değerlerine sahip olur. Bu değişimin temel

nedenlerinden biri erozyondur: Akarsu oyulması, yamaç gerilemesi ve kütle hareketleri dağ önünü zamanla aşındırarak karmaşık bir form oluşturur ve Smf değerini artırır. Dolayısıyla Smf, yalnızca morfotektonik aktivitenin bir göstergesi olmakla kalmaz, aynı zamanda yüzey süreçlerinin, özellikle de akarsu ve yamaç erozyonunun dağ önünü nasıl şekillendirdiğini anlamada kritik bir metrik olarak değerlendirilir. Bu nedenle Smf indeksinin analizi hem tektonik rejimin gücünü hem de erozyon süreçlerinin dağ önü morfolojisini ne derece yeniden biçimlendirdiğini ortaya koymak açısından önemli bir bilimsel temel sağlar.

Smf = Lmf / Ls

Smf: Dağ önü sinüsite oranı

Lmf: Dağ önü boyunca, ani topografya değişiminin izlediği gerçek kıvrımlı çizginin toplam uzunluğu

Ls: Dağ önünü temsil eden, iki uç noktayı birleştiren ideal düz çizginin uzunluğu

Eğer Lmf = Ls ise → Dağ önü düz, sinüsite düşük → Smf değeri 1'e yakın çıkar. Bu durum, tektonik aktivitenin yüksek, erozyonun biçimlendirici etkisinin düşük olduğunu gösterir. Eğer Lmf, Ls'den çok daha büyükse → Dağ önü kıvrımlı, sinüsite yüksek → Smf değeri > 1 çıkar. Bu da erozyonun dağ önünü belirgin biçimde aşındırdığını, tektonik kontrolün daha zayıf olduğunu gösterir.

Formülün uygulanması (Bull, 1977) (Şekil 32):

Smf = Lmf / Ls

Smf = 21,7 / 11,2

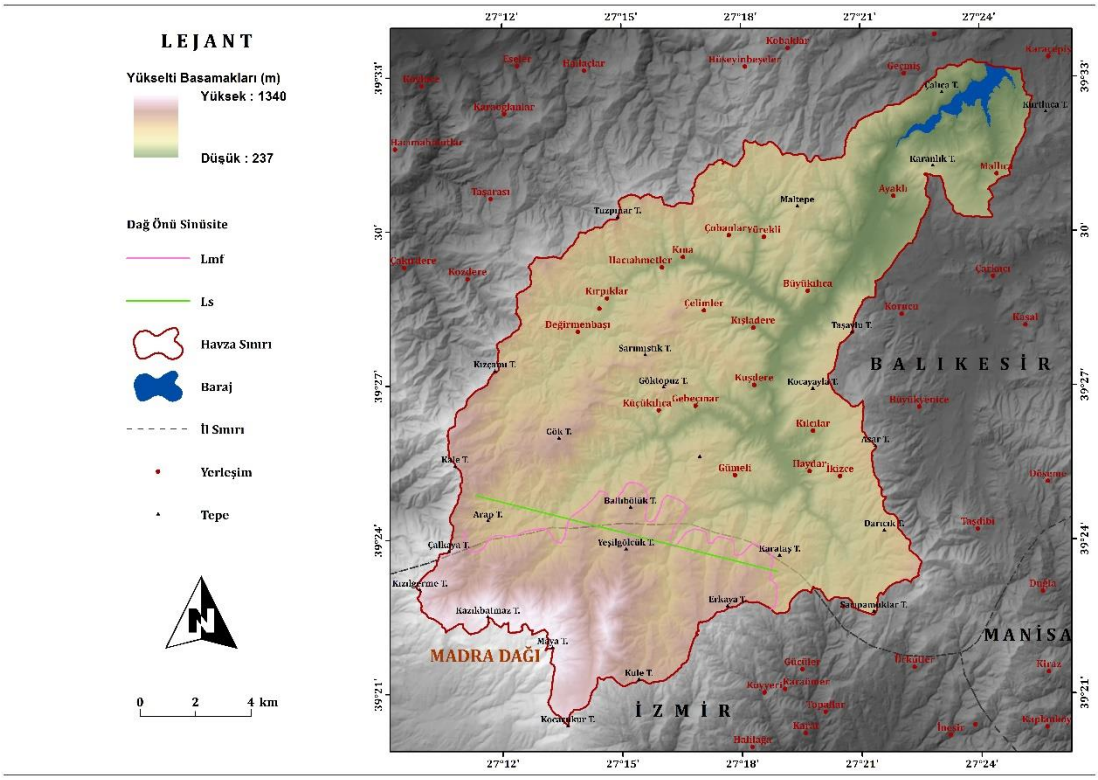
Smf = 1,94

Dağ Önü Sinüsite İndeksi (Smf) değerinin 1,94 olarak hesaplanması, inceleme alanındaki dağ önünün düşük sinüsite özelliğini büyük ölçüde kaybetmeye başladığını ve cephe boyunca girinti–çıkıntıların belirginleştiğini göstermektedir. Smf değerinin 1,0'dan uzaklaşması, dağ önünün yalnızca tektonik süreçler tarafından şekillendirilmediğini, akarsu aşındırması ve yamaç süreçlerinin de morfolojik gelişimde önemli rol oynadığını ortaya koymaktadır.

Elde edilen değer, dağ önünün tamamen erozyonal süreçlerin kontrolüne girmediğini, ancak tektonik olarak oluşmuş doğrusal cephenin zaman içerisinde yüzey

süreçleri tarafından parçalanmaya başladığını göstermektedir. Bu durum, havzada tektonik kontrolün devam etmekle birlikte erozyonal süreçlerin giderek daha etkili hâle geldiğine işaret etmektedir. Özellikle akarsuların dağ cephesini geriye doğru aşındırması (headward erosion) ve yamaçlardan taşınan materyalin cephe boyunca birikmesi, dağ önünün sinüsitesinin artmasına neden olmuştur.

Erozyon açısından değerlendirildiğinde, Smf değerinin 1,94 olması dağ önü boyunca aşındırma süreçlerinin belirgin düzeyde etkin olduğunu göstermektedir. Akarsu vadilerinin dağ cephesine doğru ilerlemesi, yamaç gerilemesi ve yüzey akışı etkisiyle gelişen oyuntu sistemleri, başlangıçta daha doğrusal olan dağ önünün zamanla düzensiz bir karakter kazanmasına yol açmıştır. Bu durum, havzada sediment üretimi ve taşınımının aktif olduğunu, özellikle yüksek eğimli yamaçlardan koparılan malzemenin drenaj ağı aracılığıyla aşağı kesimlere taşındığını göstermektedir.



Şekil 32. Dağ Önü Sinüsitesi Ölçüm Yeri

Kaynak: Orijinal

Sonuç olarak Smf değerinin 1,94 olması, Ardıçtepe Baraj Havzası'nda tektonik kökenli morfolojik yapının korunmakla birlikte erozyonal süreçler tarafından önemli ölçüde değiştirilmeye başlandığını ortaya koymaktadır. Bu durum, havzanın orta

düzeyde morfotektonik aktiviteye sahip olduğunu ve erozyon süreçlerinin havza morfolojisinin gelişiminde belirgin rol oynadığını göstermektedir.

4.1.1.4.1.1.4. Tekstür Oranı (T)

Tekstür oranı, hidrolojik ve jeomorfolojik analizlerde kullanılan morfometrik bir parametredir. Akarsu havzalarının yapısal ve yüzeysel özelliklerini değerlendirmede önemli bilgiler sağlamaktadır. Tekstür oranı, bir havzanın erozyon potansiyeli, hidrolojik hızı, sediment taşınımı ve akarsu ağı gelişmişliği hakkında fikir verir. Jeolojik yapı, kayaç türleri, toprak geçirgenliği, bitki örtüsü, yağış miktarı ile dağılımı ve topografik eğim bu parametreyi etkileyen faktörlerdir. Yüksek tekstür oranına sahip havzada çok sayıda akarsu kolu vardır. Bu durum, yüzeysel akışın kuvvetli olduğunu, eğimin fazla ve geçirimsiz yüzeylerin baskın olduğunu göstermektedir. Düşük tekstür oranına sahip havzada ise daha az sayıda akarsu kolu vardır. Genellikle geçirgen zeminler, az eğimli yüzeyler ve yer altı sızmasının yüksek olduğu alanlarla ilişkilendirilmektedir.

Tekstür oranı, bir akarsu havzasındaki yüzeysel drenaj ağının yoğunluğunu değerlendirmede kullanılan önemli bir morfometrik parametredir. Bu oran, genellikle birinci derece akarsu kollarının toplam sayısının havza çevresine bölünmesi yoluyla hesaplanmaktadır (Horton, 1945; Özdemir, 2011). Bu yöntem, özellikle yüzeysel akışın düzenliliği ve drenaj deseninin incelenmesinde temel bir ölçüt olarak kullanılmaktadır.

Smith (1950) ise tekstür oranını, "en küçük dereceye sahip akarsu kolları arasındaki mesafeler" ile "akarsular tarafından fiziksel olarak bölünmüş yüzey alanları" üzerinden tanımlamaktadır. Bu tanım, havzanın yüzeysel parçalanma düzeyine ve akarsu ağının morfolojik etkisine vurgu yapmaktadır. Smith'in yaklaşımı, sadece nicel bir ölçüm değil, aynı zamanda havzanın erozyonel karakteri ve gelişim süreci hakkında nitel değerlendirme yapma imkânı da sunmaktadır.

Sonuç olarak, tekstür oranı hem matematiksel hesaplamalarla hem de morfolojik gözlemlerle değerlendirilerek, bir havzanın jeomorfolojik yapısı ve hidrolojik davranışları hakkında önemli bilgiler sağlar.

Formülün uygulanması (Horton, 1945):

$T = N_{u1} / P$

$$T = \frac{\text{1. dizinde bulunan akarsu sayısı}}{\text{Havzanın çevresi (km)}} = \frac{1463}{97,47} = 15,01$$

Ardıçtepe Barajı Havzası için hesaplanan tekstür oranının (T) 15,01 olması, havzada ince drenaj tekstürünün hâkim olduğunu göstermektedir. İnce tekstür, birim alanda çok sayıda birinci dizin akarsuyun geliştiğini ve drenaj ağının oldukça sık olduğunu ifade eder. Bu durum, yüzeysel akışın kısa mesafelerde hızla kanallaşmasına ve yağış sularının yüzey üzerinden etkin biçimde taşınmasına neden olmaktadır.

Yüksek tekstür oranı, zemin özellikleri ve topoğrafik koşulların yüzey akışını desteklediğini, infiltrasyonun sınırlı kaldığını ve ayrışan malzemenin kolaylıkla taşındığını göstermektedir. Bu tür havzalarda yüzeysel akışın yoğunluğu arttıkça yamaç erozyonu, oyuntu (rill) erozyonu ve küçük ölçekli kanal oyulmaları daha belirgin hâle gelmektedir. Dolayısıyla T değerinin yüksek olması, havzanın erozyona karşı duyarlı bir morfolojik yapıya sahip olduğunun önemli bir göstergesi olarak değerlendirilebilir.

Ayrıca ince drenaj tekstürüne sahip havzalarda üretilen sediment, kısa mesafelerde ana akarsu ağına dâhil olmakta ve havza çıkışına doğru hızlı bir şekilde taşınmaktadır. Bu durum, Ardıçtepe Barajı Havzası özelinde değerlendirildiğinde, baraj gölüne ulaşan sediman miktarının artabileceğini ve uzun vadede sedimentasyon riskinin önemli bir sorun hâline gelebileceğini ortaya koymaktadır.

4.1.1.4.1.1.5. Drenaj Tekstür Oranı (R_t)

Drenaj tekstür oranı (R_t), bir akarsu havzasında bulunan tüm akarsu kollarının sayısının havza alanına bölünmesiyle elde edilen bir parametredir. R_t değeri, havzanın infiltrasyon kapasitesini değerlendirmede kullanılan önemli bir morfometrik göstergedir. Bu değerin yüksek olması, zemin geçirgenliğinin düşük olduğunu ve buna bağlı olarak yüzeysel akışın arttığını göstermektedir. Buna karşılık, düşük R_t değerleri, daha yüksek infiltrasyon kapasitesine işaret etmekte olup yüzeysel akışın azaldığını ifade eder (Smith, 1950) (Tablo 39).

Formülün uygulanması (Horton, 1945):

$R_t = N_u / A$

$$R_t = \frac{Akarsu\ havzasındaki\ dizinlerin\ toplam\ sayısı}{Havza\ alanı\ km^2} = \frac{1959}{257{,}3} = 7{,}61$$

Ardıçtepe Barajı Havzası'nda drenaj tekstür oranı 7,61 olarak hesaplanmıştır. Değerin yüksek olması havzanın düşük geçirgenlik özelliği taşıdığını ve havzada yüzeysel akışın fazla olduğunu göstermektedir. Yağış sonrası su toprağa sızmak yerine yüzeysel akış şeklinde akmaktadır. Bu durum, yüzeydeki suyun taşıyıcı gücünü artırmakta ve özellikle eğimli arazilerde erozyonu tetiklemektedir.

Tablo 39. Drenaj Tekstür Oranı (Rt) Sınıflandırması

R_t Değeri	**Drenaj Tekstürü**	**Yorum**	**Erozyon Riski**
<2	Çok Düşük	Yüksek geçirgenlik, düşük yüzey akışı	Düşük
2 – 4	Düşük	İyi drenaj, orta düzey geçirgenlik	Düşük
4 – 6	Orta	Dengeli drenaj koşulları	Orta
6 – 8	Yüksek	Düşük infiltrasyon, yüzey akışı artmış	Yüksek
> 8	Çok Yüksek	Çok düşük geçirgenlik, erozyon ve sel riski yüksek, yoğun yüzey akışı	Yüksek

Kaynak: Smith, 1950

4.1.1.4.1.2. Havzanın Alansal Morfometrik Yapısı

Bir akarsu havzasının alansal morfometrik özellikleri, havzanın yatay düzlemdeki örgütlenmesini, yüzey akışının hangi yoğunlukta ve ne ölçüde toplandığını gösteren temel parametrelerden oluşur. Drenaj yoğunluğu, akarsu sıklığı, havza şekli, Gravelius indeksi, lemniskat oranı ve asimetri faktörü gibi göstergeler; havzanın suyu toplama, yönlendirme ve boşaltma kapasitesini doğrudan yansıtan sayısal ölçütlerdir. Bu parametreler, havzanın jeomorfolojik bütünlüğünü ortaya koymanın yanı sıra su–toprak etkileşimini belirleyen hidrolojik süreçler hakkında da değerli bilgiler sunar.

Örneğin drenaj yoğunluğunun ve akarsu sıklığının yüksek olduğu havzalarda yüzey akışı daha kısa sürede kanallara ulaşarak hem erozyonun şiddetini artırır hem de sediman üretimini hızlandırır. Buna karşılık daha düşük drenaj yoğunluğuna sahip havzalarda infiltrasyon oranı göreceli olarak yüksek olduğundan yüzey akışı daha zayıf bir karakter sergiler. Havzanın şekline bağlı parametreler (Rf, Kg, K vb.) ise suyun havza içinde ne kadar yayıldığını, hangi kesimlerde odaklandığını ve akışın ne ölçüde yönlendirilmiş bir yapıya sahip olduğunu belirleyerek erozyonun mekânsal dağılımını kontrol eder. Ardıçtepe Barajı Havzası'nda alansal morfometrik indekslerin hesaplanması, yağış sonrası yüzey akışının hangi alanlarda yoğunlaştığını ve havzanın su toplama davranışının erozyon süreçlerini nasıl şekillendirdiğini nicel olarak ortaya koymayı amaçlamaktadır.

4.1.1.4.1.2.1. Drenaj Yoğunluğu (D_d)

Bir akarsu havzasının drenaj yoğunluğu, toplam vadi uzunluğunun havzanın drenaj alanına oranlanmasıyla hesaplanmaktadır. Bu parametre, birim alandaki akarsu uzunluğunu belirlemeye yönelik önemli bir göstergedir (Erinç, 2000). Drenaj yoğunluğunun belirlenmesi, havzadaki drenaj sisteminin karakteristikleri hakkında önemli bilgiler sunar (Özşahin, 2008). Drenaj yoğunluğu, Horton (1932, 1945) tarafından formüle edildiği şekilde, toplam vadi uzunluğunun ($\sum L$) drenaj alanına (S) bölünmesiyle ($D_d = \sum L / S$) elde edilir. Bu ölçüt, havzanın yüzeysel akış dinamiklerini anlamada kritik bir rol oynar. Drenaj yoğunluğu yüksek olan havzalarda yüzeysel akışın etkisiyle daha belirgin parçalanma ve aşındırma süreçleri gözlemlenirken, drenaj yoğunluğunun düşük olduğu alanlarda infiltrasyonun artması sonucu yer altı akımları ön plana çıkmaktadır (Patton, 1988). Bu bağlamda drenaj yoğunluğu hem morfolojik hem de hidrolojik süreçlerin değerlendirilmesinde temel bir parametre olarak öne çıkmaktadır.

Formülün uygulanması (Horton, 1945):

$$D_d = \frac{821}{257,3} = 3,19 \text{ km}$$

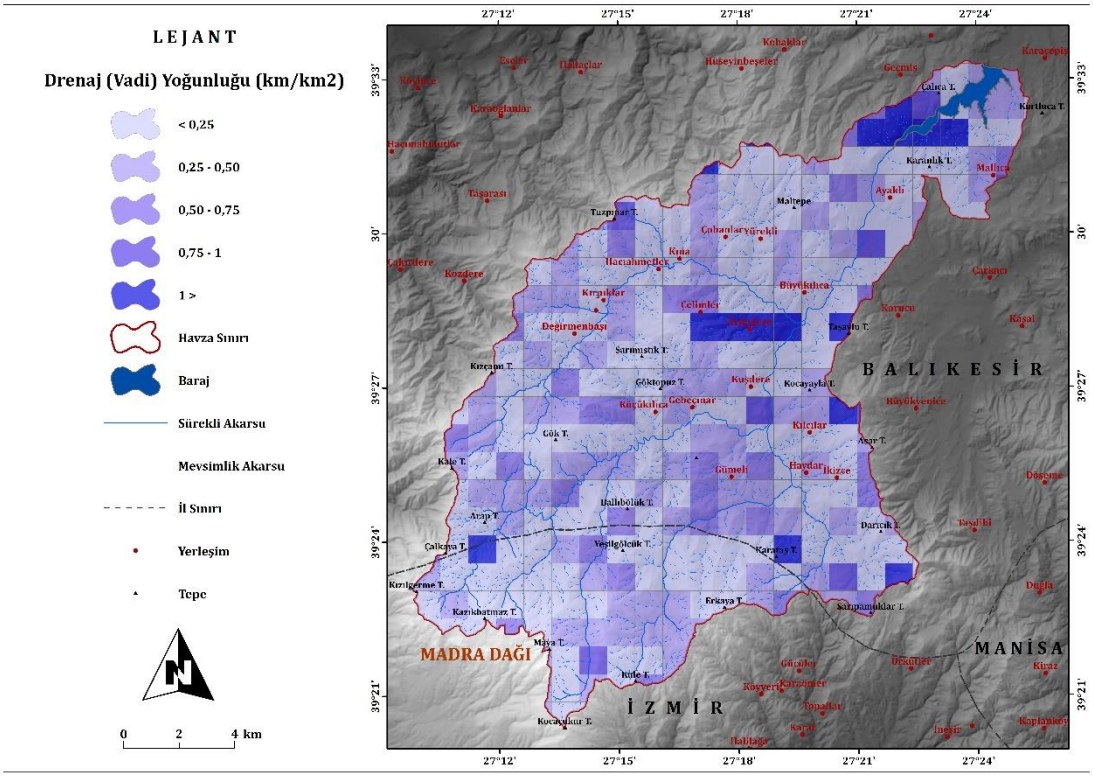
Akarsuların 821 km uzunluğunda olduğu sahada drenaj alanı ise 257,3 km²'dir. Bu değerler dikkate alındığında drenaj yoğunluğu 3,19 km/km² olarak saptanmıştır. Diğer bir değişle havzada her bir kilometre kare 3,19 km uzunluğundaki akarsu

kanallarıyla işgal edilmektedir. Drenaj yoğunluğunun bu derece yüksek olması, akarsuların çalışma alanını şekillendiren en önemli dış kuvvet olmasından kaynaklanmaktadır. Drenaj yoğunluğu haritasında (Şekil 33) görüldüğü üzere yoğunluğun havza içinde değişiklik arz etmesi ise havzanın eğim ve yapısal özellikler bakımından farklılıklar göstermesinden kaynaklanmaktadır.

Çalışma alanında yer alan kayaç türlerinin (Şekil 34) toprak geçirimliliğinin düşük olması ve yüzeysel akışın yeraltına sızamaması da drenaj yoğunluğu değerinin yüksek olmasına sebep olmaktadır. Bu durum, yüzey malzemelerinin taşınması ve aşındırılması süreçlerini hızlandırarak erozyon potansiyelini artırır. Nitekim havzada yer alan volkanik ve metamorfik kayaç türlerinde drenaj yoğunluğunun daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu bölgelerdeki sediment birikim oranları da drenaj yoğunluklarına paralel olarak artış göstermektedir.

Drenaj yoğunluğu ve yüzey erozyonu arasında pozitif bir ilişki bulunmaktadır. Havzada zemin sızma kapasitesinin düşük ve havzanın parçalanma derecesinin yüksek olduğu orta kısımda drenaj yoğunluğunun yüksek olduğu görülmektedir. Drenaj yoğunluğunun yüksek olması halinde yağışın esas akarsuya varışı daha kısa sürede gerçekleşeceği için, erozyonun şiddetinde de artış meydana gelmektedir. Yukarı havzada akarsu yoğunluğunun düşük değerler göstermesi ise yüksek eğim değerlerinin etkisinden kaynaklanmaktadır. Eğim değerlerinin yüksek olması ve bununla birlikte akış hızının yüksek olması, akarsuyun bu kaynak kısmında özellikle taban erozyonunun etkili olmasına sebep olmaktadır. Fakat akarsuyun baraja doğru ilerlediği kısımlarda, kıyı erozyonunun daha etkili olduğu gözlemlenmektedir.

Sonuç olarak, drenaj yoğunluğu ile erozyon arasında pozitif yönlü bir ilişki bulunmaktadır. Drenaj yoğunluğunun yüksek olduğu havzalarda erozyon riski artmakta; düşük drenaj yoğunluğu ise daha stabil, erozyona karşı dirençli bir havza yapısını işaret etmektedir.



Şekil 33. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın Drenaj Yoğunluğu Haritası

Kaynak: Orijinal

4.1.1.4.1.2.2. Akarsu / Drenaj Sıklığı (F_s)

Akarsu havzalarında drenaj sıklığı, birim alandaki akarsu yataklarının sayısını ifade eden önemli bir morfometrik parametredir. Bu özellik, havzanın yüzey akışını nasıl organize ettiğini ve suyun ne derece yoğun bir kanal ağıyla toplandığını göstermesi bakımından kritik öneme sahiptir. Drenaj sıklığı (F), drenaj yoğunluğunun karesinin belirli bir katsayı ile çarpılması sonucu elde edilir. Bu bağlamda yaygın olarak kullanılan formüle göre drenaj sıklığı, drenaj yoğunluğunun karesinin (D^2) 0,694 sabit katsayısıyla çarpılmasıyla hesaplanmaktadır. Elde edilen değer, havza içerisindeki drenaj ağının ne derece sık olduğunu nicel olarak ifade eder (Özşahin, 2015; Atalay ve Cürebal 2018).



Şekil 34. Ballıbölük Tepe'nin Batısında, Permiyen–Triyas Dönemine Ait Metakırıntılı Kayaçlar Üzerinde Gelişen Kireçsiz Kahverengi Orman Toprakları ve Çınar (*Platanus sp.*) Topluluğu Görülmektedir.

Kaynak: Orijinal

Drenaj sıklığı, yalnızca mevcut drenaj desenini yansıtmakla kalmaz, aynı zamanda bu yapının oluşum sürecine ilişkin ipuçları da verir. Sıklık derecesi, büyük ölçüde akarsuyun oluşumundan itibaren geçen süreye bağlı olmakla birlikte; bölgenin yağış rejimi, eğim özellikleri ve zemin geçirgenliği gibi faktörlerden de etkilenir (Özşahin, 2008). Örneğin, geçirimsiz yüzeyler ve dik eğimli alanlar genellikle daha sık drenaj ağlarıyla karakterizedir, bu da yüzeysel akışın baskın olduğu koşulları yansıtır. Sonuç olarak, drenaj sıklığı, bir havzanın hidrolojik davranışını ve jeomorfolojik gelişimini anlamada temel göstergelerden biri olup hem arazi kullanımı planlamasında hem de erozyon kontrol çalışmalarında dikkate alınması gereken önemli bir parametredir.

Formülün uygulanması (Scheidegger, 1961):

$F=D^2*0,694$

$F=3,19^2*0,694$

F=7,06

Bulunan değer havzanın 7,06 km^2 sıklıkla drene edildiğini göstermektedir. Akarsu sıklığı (veya drenaj sıklığı) değeri olan 7,06, oldukça yüksek bir değerdir ve bu durum, havzanın morfometrik ve hidrolojik özellikleri açısından önemli bazı sonuçlara işaret eder. Akarsu sıklığının yüksek olması, havza içerisinde çok sayıda akarsu kolunun bulunduğunu ve bu kolların kısa mesafelerde birbirine çok yakın konumlandığını gösterir. Bu da sık bir drenaj ağı anlamına gelir. Havzanın, yüzeysel akışları çok yoğun bir kanal sistemiyle topladığını ifade eder. Bu değer akarsuyun oluşumundan itibaren geçen sürenin uzun olduğunu da kanıtlamaktadır.

Sıklık değeri 7,06 gibi yüksek olduğunda, genellikle şu koşullar gözlemlenir: Geçirimsiz veya az geçirgen yüzeyler (örneğin kil, tüf, masif kayaçlar), yüksek eğim (akarsuların hızla akmasına neden olan topografya), yoğun ve kısa süreli yağışlar (su hızla yüzeyden akıp akarsu ağına katılır). Bu koşullar, yüzeysel akışın yer altına sızmadan doğrudan akarsulara yönlendiğini gösterir. Bu durum hem taşkın riskini hem de erozyon potansiyelini artırır. Nitekim yüzeysel akışın yüksekliği ve sık drenaj ağı, beraberinde yüksek erozyon oranlarını ve sediment taşınımını da getirmektedir. Böylelikle tarım alanları, barajlar, altyapı ve su kalitesi açısından olumsuz etkiler oluşabilir.

4.1.1.4.1.2.3. Havza Şekli (R_F)

Havza Şekli (R_F) indeksi, bir drenaj havzasının alansal biçimini nicel olarak tanımlayan ve havzanın hidrolojik tepkisini kontrol eden temel morfometrik parametrelerden biridir. Havza şeklinin uzamış, dar veya daha yuvarlak bir form göstermesi; yüzeysel akışın toplanma süresini, akımın pik zamanını ve sediment taşınım kapasitesini doğrudan etkiler. Yuvarlak havzalar yağışa karşı daha hızlı tepki vererek ani ve yüksek debili akışlar üretirken, uzamış havzalar akışı zamana yayarak daha düşük fakat daha uzun süreli akımlar oluşturur. Bu hidrolojik davranış farklılıkları, erozyon süreçlerinin şiddeti ve mekânsal dağılımı üzerinde önemli rol oynar. Özellikle genişleyerek yayılan havzalarda yüzeysel akış daha uzun mesafelerde hareket ederek yamaç erozyonu potansiyelini artırabilirken, kompakt havzalarda akış yoğunluğu ve hızının yüksekliği oyuntu ve kanal erozyonunu güçlendirebilir.

Dolayısıyla R_F analizi, havzanın genel morfodinamik karakterini anlamada ve erozyon riskini değerlendirmede kritik bir parametre niteliği taşır.

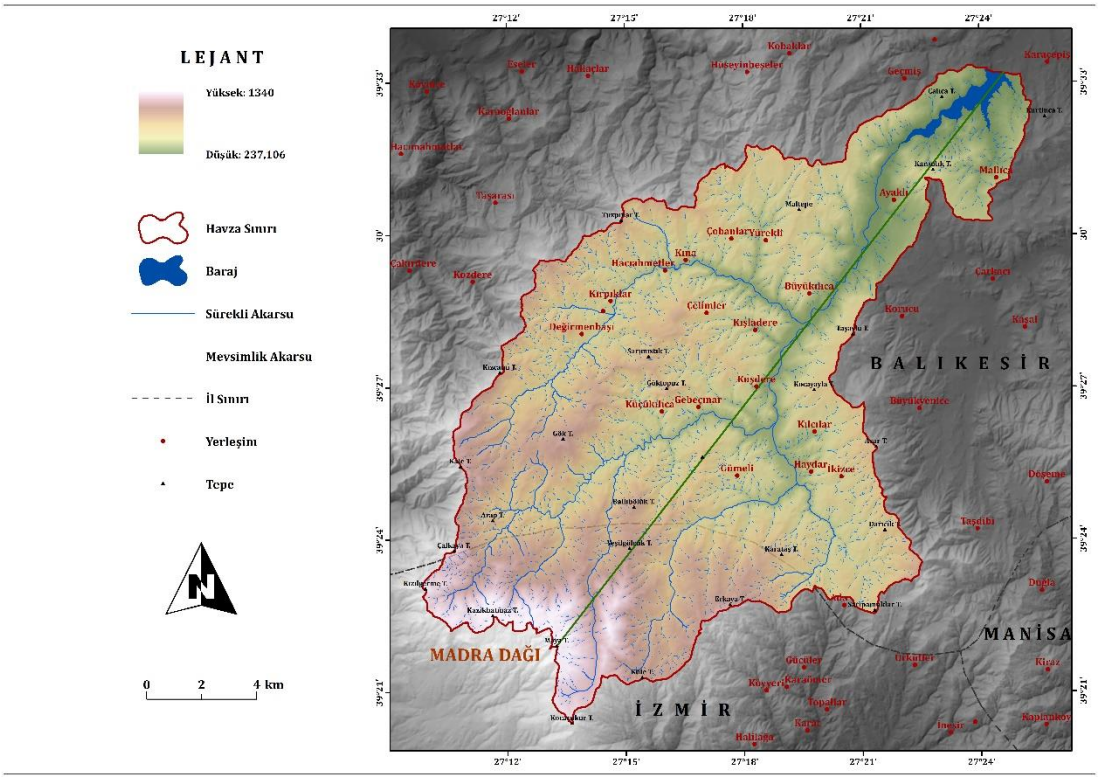
Formülün uygulanması (Horton, 1932) (Şekil 35):

$R_F = A / L_b^2$

A: Havza Alanı (km^2): 257,3

L_b^2: Havza uzunluğu (km): $26,5^2 = 702,25$

$$R_F = \frac{257.3}{702,25} = 0,37$$



Şekil 35. Ardıçtepe Barajı Havzası'nda Havza Şekli (R_F) İndeksinin Hesaplanması İçin Kullanılan L_b Ekseninin Harita Üzerindeki Konumu

Kaynak: Orijinal

R_F değerinin 0,37 olması, Ardıçtepe Barajı Havzası'nın belirgin şekilde uzamış bir morfolojik karaktere sahip olduğunu göstermektedir. Düşük R_F değerleri, havzanın dairesel olmaktan ziyade uzamış bir forma sahip olduğunu ifade etmektedir. Bu tür havzalarda yüzeysel akışın havza içerisindeki farklı kesimlerden ana drenaj sistemine ulaşma mesafeleri artabilmekte ve akışın zamansal dağılımı daha geniş bir aralığa yayılabilmektedir. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın bu morfometrik özelliği, yüzeysel akış ve erozyon süreçlerinin havza içerisindeki dağılımının değerlendirilmesinde

dikkate alınması gereken önemli bir parametredir. Bu nedenle R_F değeri, havzanın morfometrik özelliklerinin ve erozyon duyarlılığının değerlendirilmesinde destekleyici bir gösterge olarak değerlendirilebilir.

4.1.1.4.1.2.4. Lemniskat / Kelebek Eğrisi Oranı (K)

Lemniskat (Kelebek Eğrisi) Oranı (K), bir drenaj havzasının geometrik düzenini ve akış yollarının mekânsal dağılımını tanımlamak amacıyla kullanılan temel morfometrik indekslerden biridir. Havzanın uzun ekseni ile genişliği arasındaki ilişkiyi ortaya koyan bu oran, havzanın uzamış ya da daha kompakt bir morfolojiye sahip olup olmadığını nicel olarak ifade eder. Havza geometrisindeki bu farklılıklar, yüzeysel akışın havza içerisindeki ilerleme biçimini, akış süresini ve suyun kanallarda yoğunlaşma derecesini doğrudan etkilemektedir. Özellikle uzamış havzalarda yüzeysel akış daha uzun güzergâhlarda ilerleyerek yamaç erozyonunu ön plana çıkarırken, daha kompakt havzalarda akışın kısa sürede yoğunlaşması kanal ve oyuntu erozyonunun şiddetlenmesine neden olabilir. Bu bağlamda K oranı, havzanın hidrolojik tepkisini ve buna bağlı olarak gelişen erozyon süreçlerinin karakterini değerlendirmede önemli bir gösterge olarak kullanılmaktadır.

Formülün uygulanması (Zavoinau, 1985):

$K = Lb^2 / 4A$

A: Havza Alanı (km^2): 257,3 = 1029,2

L_b^2: Havza uzunluğu (km): $26,5^2 = 702,25$

K = 1029,2 / 702,25 = 0,68

Ardıçtepe Barajı Havzası için hesaplanan Lemniskat (Kelebek Eğrisi) Oranı'nın 0,68 olması, havzanın uzamış bir morfolojik yapıya sahip olduğunu göstermektedir. K değerinin 1'den düşük olması, havzanın dairesel bir forma kıyasla daha uzun bir geometriye sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bu morfolojik özellik, yüzeysel akışın havza içerisinde daha uzun mesafeler kat ederek ana drenaj sistemine ulaşmasına ve akışın havza geneline zamansal olarak daha geniş bir aralıkta yayılmasına katkı sağlayabilmektedir. Bu nedenle K değeri, Ardıçtepe Barajı Havzası'nın morfometrik özelliklerinin değerlendirilmesinde önemli bir gösterge niteliğindedir.

4.1.1.4.1.2.5. Gravelius İndeksi (K_g)

Gravelius İndeksi (K_g), bir drenaj havzasının çevresel geometrisini tanımlamak ve havzanın ideal dairesel şekilden ne ölçüde saptığını ortaya koymak amacıyla kullanılan temel morfometrik göstergelerden biridir. Havza çevresinin uzunluğu ile aynı alana sahip bir dairenin çevresi arasındaki ilişkiye dayanan bu indeks, havzanın kompakt ya da uzamış bir morfoloji sergileyip sergilemediğini nicel olarak ifade eder. Havza şeklinin bu geometrik özelliği, yüzeysel akışın toplanma biçimini, akışın kanallara yönelme süresini ve suyun havza içerisindeki dağılımını doğrudan etkilemektedir. Dairesel forma yakın havzalarda akış kısa sürede yoğunlaşarak ani ve yüksek enerjili akımlar oluştururken, çevresi daha düzensiz ve uzamış havzalarda akış zamana yayılarak geniş alanlara dağılır. Bu farklı hidrolojik tepkiler, erozyon süreçlerinin karakteri üzerinde belirleyici rol oynar; kompakt havzalarda kanal ve oyuntu erozyonu ön plana çıkarken, düzensiz ve uzamış havzalarda yamaç erozyonu ve yüzeysel taşınım süreçleri daha etkin hâle gelir. Bu nedenle Gravelius İndeksi, havzanın erozyon duyarlılığını değerlendirmede önemli bir morfometrik parametre olarak kullanılmaktadır.

Formülün uygulanması (Gravelius, 2014):

$$K_g = \frac{P}{\sqrt[2]{\pi * A}}$$

P: Havza çevresi (km): 97,47

π: pi sayısı (3,14)

A: Havza alanı (km^2): 257,3

$$K_g = \frac{97,47}{\sqrt[2]{807,9}} = \frac{97,47}{2 * 28,42} = \frac{97,47}{56,84} = 1,72$$

Ardıçtepe Barajı Havzası için hesaplanan Gravelius İndeksi'nin (K_g) 1,72 olması, havzanın dairesel formdan belirgin şekilde uzak, uzamış ve çevresi düzensiz bir morfolojiye sahip olduğunu göstermektedir. Bu tür havzalarda yüzeysel akış kısa sürede yoğunlaşmak yerine zamana yayılarak gerçekleşmekte, bu durum ise yamaç yüzeylerinin uzun süre akış etkisi altında kalmasına neden olmaktadır. Sonuç olarak K_g değerinin yüksekliği, havzada yamaç erozyonunun baskın olduğunu ve sediment üretiminin havza geneline yayılmış bir karakter sergilediğini ortaya koymaktadır. Bu

morfolojik yapı, Ardıçtepe Barajı Havzası'nda baraj gölüne taşınan sediman miktarının sürekliliği açısından önemli bir risk faktörü oluşturmaktadır.

4.1.1.4.1.2.6. Asimetri Faktörü (AF)

Asimetri Faktörü (AF), bir drenaj havzasının ana akarsu eksenine göre sağ ve sol havza alanlarının dağılımını nicel olarak ortaya koyan morfometrik bir göstergedir. Havzanın simetrik ya da asimetrik bir gelişim sergilemesi, drenaj ağının mekânsal düzenini ve yüzeysel akışın hangi yamaçlarda yoğunlaştığını doğrudan etkilemektedir. Özellikle tektonik eğimlenme, litolojik farklılıklar veya yapısal kontrol altında gelişen havzalarda akarsu ağı bir yöne doğru kayma eğilimi gösterir ve bu durum AF değerlerinde belirgin sapmalarla kendini ortaya koyar. Bu tür asimetrik havzalarda yüzeysel akış, belirli yamaçlarda yoğunlaşarak yamaç erozyonunun mekânsal olarak dengesiz dağılmasına neden olur. Dolayısıyla Asimetri Faktörü, yalnızca havzanın morfotektonik karakterini değil, aynı zamanda erozyon süreçlerinin hangi kesimlerde daha etkin olduğunu belirlemede de önemli bir gösterge olarak kullanılmaktadır.

Formülün uygulanması (Hare ve Gardner, 1985) (Şekil 36):

AF = 100 * (Ar / At)

A_r: Havza içerisinde ana akarsuyun akış yönüne göre sağ tarafta kalan alanı (km^2)

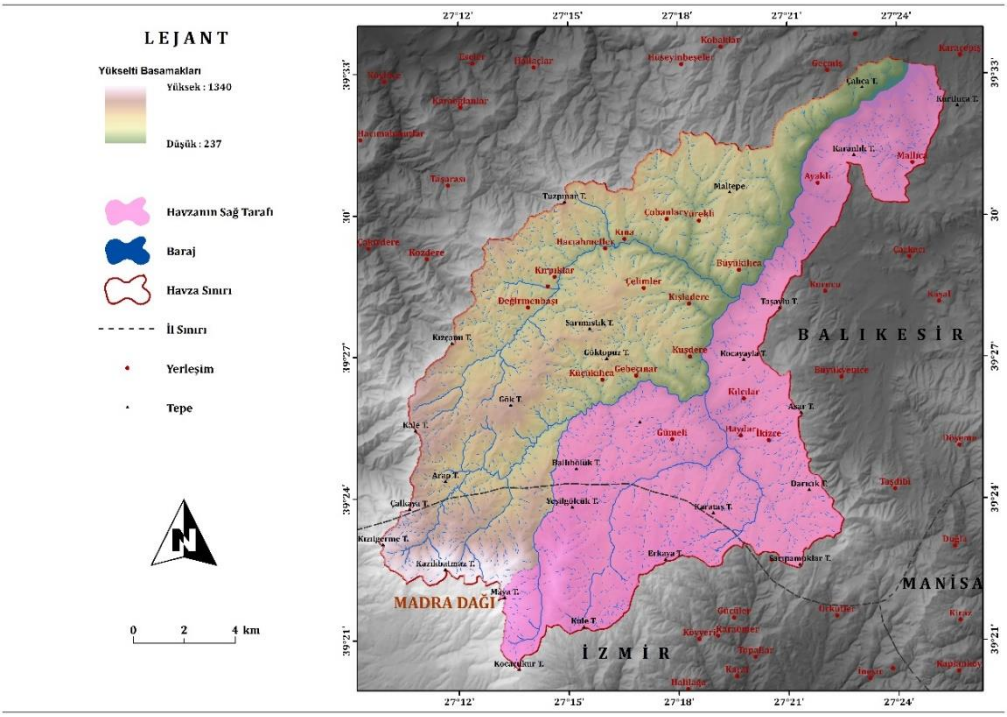
A_t = Drenaj havzasının toplam alanını (km^2) ifade eder.

$$AF = 100 * \frac{111,84}{257,3} = 100 * 0,4346 = 43,46$$

Ardıçtepe Barajı Havzası'nda hesaplanan asimetri faktörü (AF) değeri 43,46'dır. AF değerinin 50'den küçük olması, havzanın ana akarsuya göre sol tarafta daha geniş bir drenaj alanına sahip olduğunu ve havzanın hafif düzeyde sola asimetrik geliştiğini göstermektedir. Bununla birlikte değerin 50'ye oldukça yakın olması, havzada belirgin bir asimetrik gelişimin bulunmadığına işaret etmektedir.

Erozyon açısından değerlendirildiğinde, AF değerinin 50'ye yakın olması havza genelinde aşındırma ve drenaj gelişiminin nispeten dengeli bir dağılım gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bu durum, havzanın herhangi bir kesiminde baskın bir yanal aşındırma sürecinin gelişmediğini ve erozyonal faaliyetlerin havza içerisinde belirgin şekilde tek bir yöne yoğunlaşmadığını göstermektedir. Dolayısıyla asimetri

faktörü sonuçları, Ardıçtepe Baraj Havzası'nda erozyon süreçlerinin genel olarak dengeli bir karakter sergilediğini ortaya koymaktadır.



Şekil 36. Havzanın Sağ Tarafı ile Sol Tarafının Karşılaştırılması

Kaynak: Orijinal

4.1.1.4.1.3. Havzanın Rölyef ve Yükseltiye Dayalı Morfometrik Analizi

Rölyef morfometrisi, bir havzanın düşey yöndeki topografik karakterini, yükselti farklarını ve eğim gradyanlarını nicel olarak ifade eden temel parametreleri içerir. Rölyef oranı, basin rölyefi, engebelilik değeri, yükselti frekansı, hipsometrik eğri ve Melton indeksi gibi göstergeler; arazi yüzeyinde biriken potansiyel enerjiyi, akarsuların aşındırıcı kapasitesini ve havzanın jeomorfolojik evrim sürecini tanımlamada kritik öneme sahiptir. Yüksek rölyef değerlerine sahip havzalarda eğim gradyanı fazla olduğundan yüzey akışı hızlanmakta, akarsu yataklarının derine aşındırma eğilimi artmakta ve sediman taşınımı önemli ölçüde güçlenmektedir. Buna karşılık rölyefin düşük olduğu havza kesimlerinde akış daha yayvan bir karakter gösterir ve erozyon süreçleri daha zayıf seyreder. Hipsometrik eğri ve integrali gibi göstergeler havzanın genç, olgun veya yaşlı aşınım evresinde olup olmadığını belirleyerek erozyonun zamansal boyutuna ışık tutar. Ardıçtepe Barajı Havzası'nda rölyef morfometrisinin analiz edilmesi, yükseltiye bağlı potansiyel enerji dağılımının,

akış hızını ve aşındırıcı gücü nasıl etkilediğini ortaya koyarak erozyon potansiyelinin jeomorfolojik temelini anlamaya katkı sağlamaktadır.

4.1.1.4.1.3.1. Havza Rölyef (B_h)

Havza Rölyefi (B_h), bir drenaj havzası içerisindeki en yüksek ve en düşük yükselti farkını ifade eden ve havzanın potansiyel enerjisini doğrudan yansıtan temel morfometrik parametrelerden biridir. Yükselti farkının fazla olduğu havzalarda yerçekimi etkisiyle yüzeysel akış daha yüksek enerjiye sahip olmakta, bu durum akarsu oyulması ve yamaç süreçlerinin şiddetlenmesine neden olmaktadır. Özellikle yüksek relief değerleri, akarsuların aşındırma gücünü artırarak dik yamaçların gelişmesine, yamaç gerilemesine ve yoğun sediment üretimine zemin hazırlar. Buna karşılık düşük reliefli havzalarda akış enerjisi sınırlı kalmakta ve erozyon süreçleri daha zayıf bir karakter sergilemektedir. Bu nedenle Bh analizi, bir havzanın erozyon potansiyelini ve yüzey süreçlerinin şiddetini değerlendirmede kritik bir gösterge olarak kullanılmaktadır.

Formülün uygulanması (Strahler, 1952a):

$B_h = H_{max} - H_{min}$

B_h: Havzanın en yüksek ve en alçak noktası arasındaki dikey uzaklığı (yükselti farkını) ifade etmektedir.

H_{max}: Havzanın en yüksek noktası

H_{min}: Havzanın en alçak noktası

B_h= 1340 - 237=1103 m

Ardıçtepe Barajı Havzası'nda belirlenen en yüksek yükselti (1340 m) ile en düşük yükselti (237 m) arasındaki farktan hesaplanan havza reliefinin (Bh) 1103 m olması, havzanın yüksek topoğrafik enerjiye sahip olduğunu göstermektedir. Bu durum, yüzeysel akışın ve akarsu aşındırmasının güçlü olduğu, uzun ve dik yamaçların yaygın olarak geliştiği bir morfolojik yapı ile ilişkilidir. Yüksek relief değerine bağlı olarak havzada yamaç erozyonu, akarsu oyulması ve sediment üretiminin belirgin olduğu, üretilen malzemenin drenaj ağı aracılığıyla kısa sürede ana akarsuya ve baraj gölüne taşınabildiği anlaşılmaktadır. Dolayısıyla Bh değeri, Ardıçtepe Barajı

Havzası'nın erozyon açısından yüksek duyarlılığa sahip olduğunu destekleyen önemli bir morfometrik göstergedir.

4.1.1.4.1.3.2. Rölyef Oranı (R_h)

Rölyef Oranı (R_h), bir drenaj havzasındaki toplam yükselti farkının (havza reliefi) havza uzunluğuna oranlanmasıyla elde edilen ve havzanın topoğrafik eğimini bütüncül olarak yansıtan önemli bir morfometrik parametredir. Bu oran, havzanın yalnızca ne kadar yüksek reliefli olduğunu değil, aynı zamanda bu reliefin yatay mesafe boyunca ne kadar yoğunlaştığını da ortaya koymaktadır. Rh değerinin yüksek olması, kısa mesafelerde büyük yükselti farklarının bulunduğunu, dolayısıyla yüzeysel akışın daha yüksek potansiyel enerjiye sahip olduğunu göstermektedir. Bu durum, akarsu aşındırması, yamaç erozyonu ve sediman taşınımı gibi süreçlerin şiddetlenmesine neden olmaktadır. Buna karşılık düşük Rh değerleri, daha az eğimli ve akış enerjisinin sınırlı olduğu havzaları işaret eder. Bu bağlamda Rölyef Oranı, havzanın erozyon potansiyelini değerlendirmede ve yüzey süreçlerinin dinamiğini anlamada kritik bir gösterge olarak kullanılmaktadır.

Formülün uygulanması (Schumm 1956) (Şekil 37):

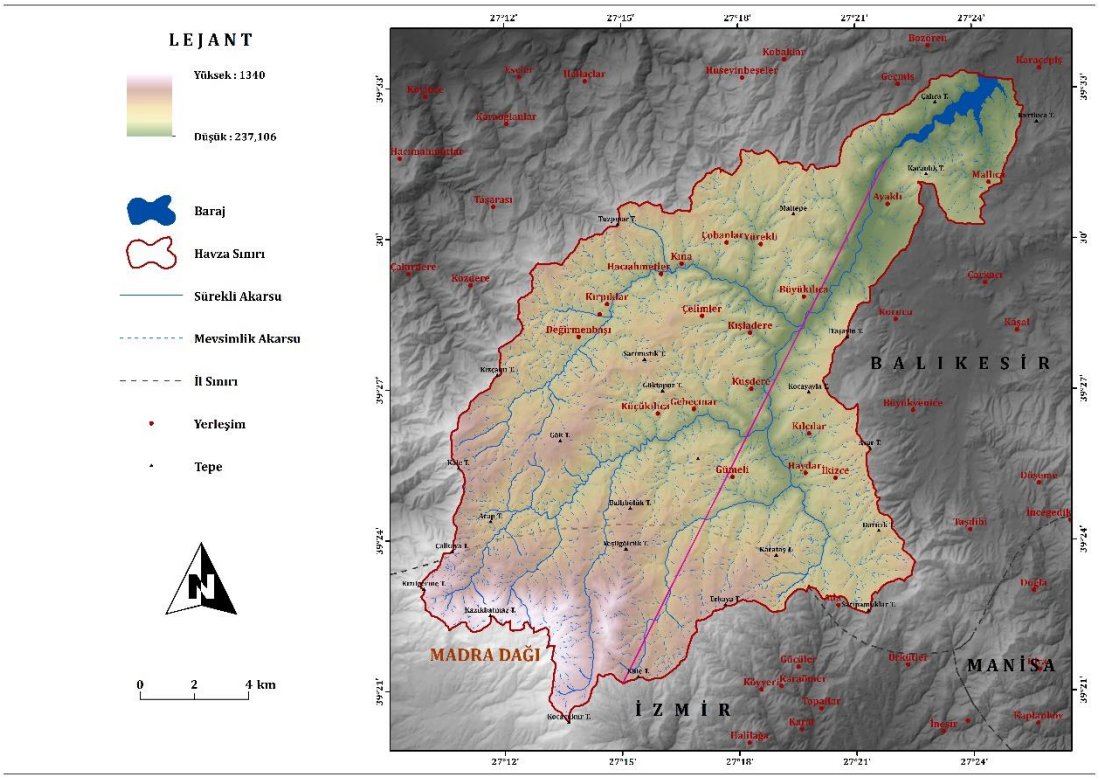
$R_h = B_h / L$

B_h: Yüksek rölyef

L: Ana akarsuya paralel maksimum havza uzunluğudur (m).

$R_h = 1103 / 21598 = 0,05$

Ardıçtepe Barajı Havzası'nda havza reliefinin (B_h = 1103 m) havza uzunluğuna (L = 21,6 km) oranlanmasıyla elde edilen rölyef oranının (R_h = 0,05) yüksek olması, yükselti farkının kısa mesafelerde yoğunlaştığını ve havzanın yüksek topoğrafik enerjiye sahip olduğunu göstermektedir. Bu durum, yüzeysel akışın ve akarsu aşındırmasının güçlü olduğu, yamaç erozyonu ve sediment üretiminin belirgin şekilde geliştiği bir morfolojik yapı ile ilişkilidir. Dolayısıyla Rh değeri, Ardıçtepe Barajı Havzası'nın erozyon açısından yüksek duyarlılığa sahip olduğunu destekleyen önemli bir morfometrik parametre olarak değerlendirilmektedir.



Şekil 37. Ana Akarsuya Paralel Maksimum Havza Uzunluğu

Kaynak: Orijinal

4.1.1.4.1.3.3. Engebelilik Değeri (R_n)

Havza morfometrisi, yüzeysel akışın hızı ve toprağın taşınma kapasitesi üzerinde doğrudan belirleyici olan fiziksel değişkenlerin matematiksel bir ifadesidir. Bu değişkenler arasında yer alan Engebelilik Değeri (R_n), havzanın rölyef şiddeti ile drenaj yoğunluğu arasındaki karmaşık etkileşimi simgeleyen bütüncül bir parametre olarak öne çıkmaktadır. Yüksek Rn değerleri, dik yamaç eğimlerinin sık bir drenaj ağıyla birleştiği topografik bir düzene işaret ederek, havzanın hidrolik enerjisinin ve dolayısıyla aşındırma gücünün artmasına neden olur. Baraj havzalarındaki erozyon risk analizlerinde bu indis; sadece yükselti farklarını değil, aynı zamanda havza yüzeyinin parçalanmışlık düzeyini de temsil ettiği için, sediman üretim potansiyeli yüksek olan hassas alanların tespit edilmesinde temel bir morfolojik gösterge işlevi görmektedir.

Formülün uygulanması (Melton, 1957; Strahler, 1958):

$R_n = B_h * D_d$

B_h: Havza rölyefi (km)

D_d: Drenaj yoğunluğu (km/km²)

R_n = 1,103 * 3,19 = 3,51

Hesaplanan 3,51 engebelilik değeri, havzanın morfometrik olarak 'yüksek engebelilik' sınıfında yer aldığını ve erozyonel süreçlere karşı son derece hassas bir topoğrafyaya sahip olduğunu kanıtlamaktadır. Bu değerin büyüklüğü, havzadaki dik yamaç eğimlerinin (B_h) sadece statik birer yükselti farkı olmadığını, aynı zamanda yoğun bir drenaj şebekesi (D_d) ile parçalanarak erozyonu tetikleyen dinamik birer yüzeye dönüştüğünü göstermektedir.

Erozyon mekanizması açısından bu durum iki temel sonuca işaret eder:

1. Yüksek Akış Hızı: Yüksek R_n değeri, yüzey akışının (runoff) yamaç boyunca katettiği mesafenin kısalığını ve akış hızının sürtünmeye rağmen yüksek enerjide kaldığını gösterir.
2. Sediman İletim Kapasitesi: Sık drenaj ağı, yamaçlardan aşınan malzemenin (sedimanın) ana kanala iletilmesini kolaylaştırarak baraj gölüne yönelik katı madde taşınımını maksimize etmektedir.

Sonuç olarak, 3,51 gibi yüksek bir indis değeri; havzanın hem dikey hem de yatay yönde aşınma potansiyelinin yüksek olduğunu ve barajın ekonomik ömrünü tehdit edebilecek bir “sediman üretim alanı” karakteri taşıdığını doğrulamaktadır.

4.1.1.4.1.3.4. V_f İndeksi

Akarsu havzalarındaki morfometrik gelişim, tektonik yükselme ile flüviyal aşınma süreçleri arasındaki dinamik dengenin bir yansımasıdır. Bu dengenin nicel olarak değerlendirilmesinde kullanılan Vadi Tabanı Genişliği – Vadi Yüksekliği Oranı (V_f), vadinin enine kesit geometrisini analiz ederek drenaj ağının dikey yönlü aşındırma (derine kazma) eğilimini ortaya koymaktadır. Düşük V_f değerleri, genellikle 'V' formlu, dar tabanlı ve derin yarılmış vadilere işaret ederek, bölgenin aktif bir tektonik yükselme veya şiddetli bir dikey erozyon etkisinde olduğunu kanıtlamaktadır. Baraj havzası özelinde bu indis; yamaç eğimlerinin dikleşmesine bağlı olarak kütle hareketlerinin ve yüzeysel erozyonun şiddetlenme potansiyelini belirlemek adına kritik bir parametredir. Zira dar ve derin vadilerde akış enerjisinin tabana odaklanması,

yamaç dengesini bozarak baraj gölüne yönelik katı madde taşınımını (sedimantasyon) doğrudan tetikleyen jeomorfometrik bir altyapı sunmaktadır.

Formülün uygulanması (Bull ve McFadden, 1977) (Şekil 38):

$$V_f = \frac{2 \cdot V_{fw}}{(E_{ld} - E_{sc}) + (E_{rd} - E_{sc})}$$

V_f: Vadi tabanı genişliği – Vadi yüksekliği oranı

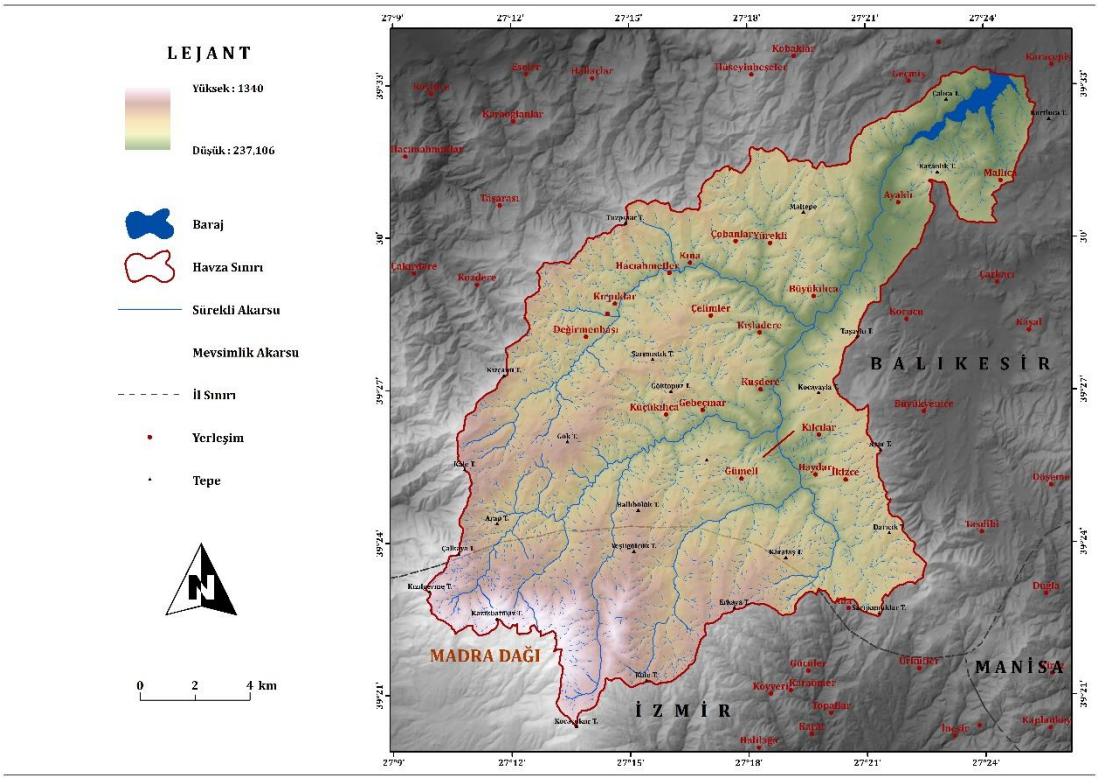
V_{fw}: Vadi tabanı genişliği

E_{ld}: Sol vadi kesimi yüksekliği

E_{rd}: Sağ vadi kesimi yüksekliği

E_{sc}: Vadi tabanı yüksekliği

$$V_f = \frac{2 \cdot 150}{(520 - 340) + (490 - 340)} = \frac{300}{180 + 150} = \frac{300}{330} = 0,91$$

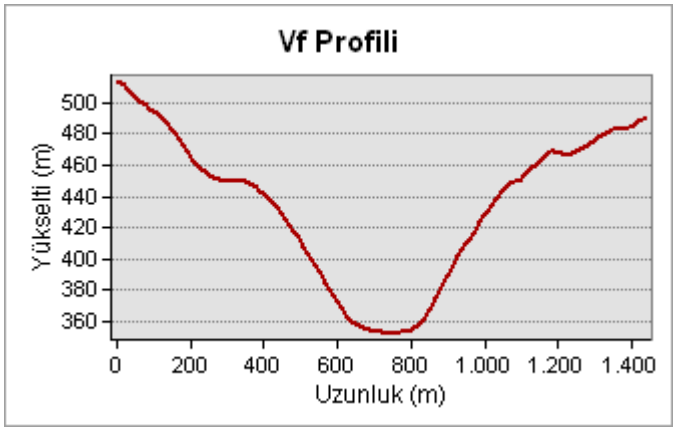


Şekil 38. V_f Ölçüm Yeri

Kaynak: Orijinal

Yapılan analizler sonucunda elde edilen 0,91'lik V_f değeri, sahanın dikey yönde şiddetli bir aşınma sürecinde olduğunu ve vadi morfolojisinin baskın olarak 'V' tipi karakter sergilediğini ortaya koymaktadır. 1 değerinin altında kalan bu indis, akarsu yatağındaki derinleşmenin yamaç stabilitesini etkileyerek havza genelindeki sediman üretimini ve erozyon riskini artırdığını doğrulamaktadır.

Elde edilen kesit profilinde (Şekil 39), vadi tabanının dar olması ve yamaçların içbükey-dik bir profil sergilemesi, akarsuyun yanal aşındırmadan ziyade dikey aşındırma sürecinde olduğunu kanıtlamaktadır. Bu durum, yamaç materyallerinin dengesini bozarak havzadaki sediman transferini hızlandıran temel bir faktördür.



Şekil 39. V_f Profili

Kaynak: Orijinal

4.1.1.4.1.3.5. Yükselti Frekans Histogramı

Havza alanının yükselti basamaklarına göre dağılımını gösteren yükselti frekans histogramı, havzanın jeomorfolojik evrimini ve aşınım yüzeylerinin karakterini analiz etmek amacıyla kullanılmıştır (Baulig, 1939; Strahler, 1952b). Bu yöntem, topografik yüzeyin istatistiksel bir özetini sunarak, havzadaki potansiyel enerji dağılımını anlamamıza olanak tanır (Clarke, 1966).

Bir drenaj havzasının morfolojik evrimi, topografik yüzeyin yükselti basamaklarına göre nasıl bir dağılım sergilediğiyle yakından ilişkilidir. Bu bağlamda kullanılan Yükselti Frekans Histogramı, havza alanının farklı yükseltiler arasındaki yüzdesel dağılımını analiz ederek, sahanın dikey yapısını ve parçalanmışlık düzeyini

ortaya koymaktadır. Histogram aracılığıyla belirlenen baskın yükselti kademeleri, havzada erozyonel süreçlerin hangi kuşaklarda yoğunlaştığını ve potansiyel enerji (rölyef) birikiminin hangi alanlarda toplandığını anlamamıza olanak tanır. Özellikle baraj havzalarında, alanın büyük bir kısmının yüksek kotlarda toplanması, potansiyel enerjinin yüksekliğini ve buna bağlı olarak havzanın sediman üretim kapasitesinin dinamizmini yansıtmaktadır. Bu analiz, sadece sahanın mevcut fiziksel görünümünü betimlemekle kalmayıp, aynı zamanda havzanın jeomorfolojik gelişim evresi (genç, olgun, yaşlı) ve erozyon riski arasındaki ilişkinin mekansal bir projeksiyonunu sunmaktadır.

Çalışma sahasının 237 m ile 1340 m arasında değişen geniş yükselti ranjı dikkate alınarak, topografik varyasyonları ve aşınım yüzeylerini en hassas şekilde temsil edebilecek 50 metrelik yükselti basamakları tercih edilmiştir. Bu sınıflandırma aralığının belirlenmesinde, havzanın morfometrik karakterini yansıtacak detay düzeyinin korunması ve istatistiksel genellemeyi bozabilecek aşırı parçalı verinin elimine edilmesi amaçlanmıştır. 20 metrelik daha dar aralıkların oluşturacağı gereksiz ayrıntı yoğunluğundan kaçınılırken; 50 metrelik aralıkların, havzadaki eğim kırılmalarını, plato düzlüklerini ve erozyonel kademelenmeleri akademik açıdan anlamlı bir çözünürlükte sunduğu saptanmıştır.

Ardıçtepe Barajı Havzası’nın 237 m ile 1340 m arasında değişen dikey yükselti ranjı (Tablo 40 ve Şekil 40), 50 metrelik basamaklar halinde analiz edildiğinde, havza alanının yükselti kuşaklarına göre heterojen bir dağılım sergilediği görülmektedir. Analiz sonuçlarına göre havza alanının en büyük kısmı (%8,9), 550-600 m yükselti basamağında toplanmıştır. Bu durum, havzanın morfometrik olarak "olgunluk" safhasına doğru ilerlediğini, ancak topografik yüzeyin hâlâ önemli bir kısmının orta-üst kotlarda yoğunlaştığını göstermektedir. Özellikle 400 m ile 850 m arasındaki yükselti kuşağının toplam havza alanının yaklaşık %60'ından fazlasını oluşturması, erozyon süreçlerinin ve yüzeysel akış enerjisinin ana üretim sahasının bu kuşak üzerinde odaklandığını kanıtlamaktadır.

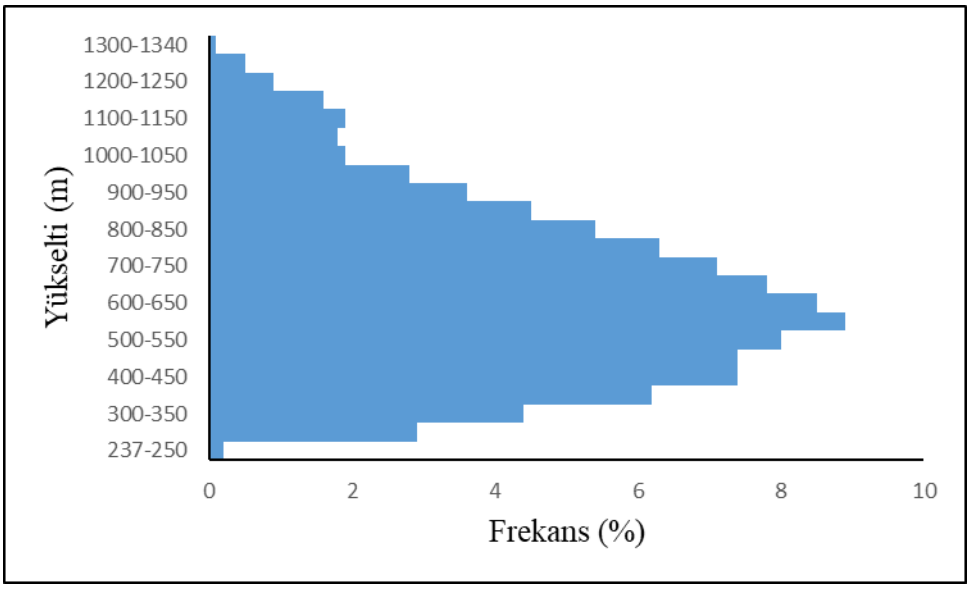
Tablo 40. Ardıçtepe Barajı Havzası'nda Yükselti Basamaklarının Alansal Dağılımı

Yükselti Basamağı (m)	Alan / Frekans (km^2)	Alan / Frekans (%)
237-250	0,6	0,2
250-300	7,4	2,9
300-350	11,3	4,4
350-400	16	6,2
400-450	19	7,4
450-500	19,2	7,4
500-550	20,6	8
550-600	23	8,9
600-650	21,9	8,5
650-700	20	7,8
700-750	18,4	7,1
750-800	16,3	6,3
800-850	13,9	5,4
850-900	11,5	4,5
900-950	9,4	3,6
950-1000	7,1	2,8
1000-1050	4,9	1,9
1050-1100	4,7	1,8
1100-1150	4,8	1,9
1150-1200	4	1,6
1200-1250	2,4	0,9
1250-1300	1,2	0,5
1300-1340	0,2	0,1

Kaynak: Orijinal

Erozyon mekanizması açısından değerlendirildiğinde, havzadaki bu alansal yığılma, "potansiyel sediman kaynağı" olarak nitelendirilen alanların lokasyonunu belirlemektedir. 550-650 m arasındaki basamakların yüksek frekansa sahip olması, bu kuşakta eğim değerlerinin (RUSLE/LS faktörü) arttığı alanlarda erozyon şiddetinin maksimize olacağını göstermektedir. Öte yandan, havzanın 1000 m üzerindeki kısımlarının hâlâ %5'ten fazla bir alansal paya sahip olması, havza üst kısımlarındaki dikey enerjinin korunmuş olduğunu ve bu alanların baraj gölüne malzeme taşıyan "aktif aşınım alanları" olarak varlığını sürdürdüğünü ortaya koymaktadır.

Havza tabanını temsil eden 237-350 m aralığındaki düşük kotlu alanların toplam yüzdesinin (%7,5 civarı) oldukça sınırlı olması, baraj havzası yönetimi açısından kritik bir bulgudur. Bu morfolojik yapı, akarsuların baraj rezervuarına ulaşmadan önce hızlarını kesebilecekleri ve beraberinde getirdikleri katı maddeyi depolayabilecekleri geniş alüvyal taban düzlüklerinin (sediman tuzaklarının) yetersiz olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, yamaçlardan aşınan malzemenin doğrudan baraj gölüne iletilme oranı bu tip dar tabanlı havzalarda daha yüksektir. Bu durum, Ardıçtepe Barajı'nın ekonomik ömrünü etkileyebilecek sedimantasyon riskinin, havzanın morfometrik yapısı tarafından doğrudan desteklendiği şeklinde yorumlanmaktadır.



Şekil 40. Çalışma Alanının Yükselti Frekans Histogramı

Kaynak: Orijinal

Hazırlanan yükselti frekans histogramı (Şekil 40), Ardıçtepe Barajı Havzası'nda alanın büyük bölümünün (%17,4) 550-650 m yükselti kuşaklarında

toplandığını göstermektedir. Bu morfolojik yapı, havzada erozyonel faaliyetlerin odak noktasını bu orta yükselti basamaklarına taşırken; havza tabanındaki alansal daralma, aşınan materyalin baraj gölüne doğrudan iletilme riskini artırmaktadır.

4.1.1.4.1.3.6. Hipsometrik Eğri (H_c)

Havzanın jeomorfolojik gelişim evresini ve aşınım karakterini belirlemek amacıyla, Strahler (1952a) tarafından geliştirilen hipsometrik analiz yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntem, havza alanı ile yükselti arasındaki ilişkinin bağıl (rölatif) değerler (a/A ve h/H) kullanılarak fonksiyonel bir eğriye dönüştürülmesine dayanmaktadır (Tablo 41 ve Şekil 41).

Drenaj havzalarının jeomorfolojik gelişim süreçlerini ve aşınım aşamalarını nicel bir çerçevede özetleyen en güçlü yöntemlerden biri Hipsometrik Eğri analizidir. Havza alanının yükselti değerlerine göre kümülatif dağılımını ifade eden bu eğri, topoğrafik yüzeyin akarsu ağları tarafından ne ölçüde parçalandığını ve başlangıçtaki kütlenin ne kadarının taşındığını ortaya koymaktadır. Baraj havzası özelinde bu analiz; sahanın erozyonel evrimindeki yerini (genç, olgun veya yaşlı) belirlemekle kalmayıp, rezervuar ömrünü tehdit eden potansiyel sediman üretiminin 'zaman içindeki sürekliliği' hakkında kritik çıkarımlar sunmaktadır.

Tablo 41'de yer alan ifadeler:

h: Değerlendirmeye alınan yükseklik (m),

H: Havza rölyefi (maksimum yükseklik-minimum yükseklik) (m),

a: Alınan yükseklik üzerindeki gerçek alan değeri (m^2),

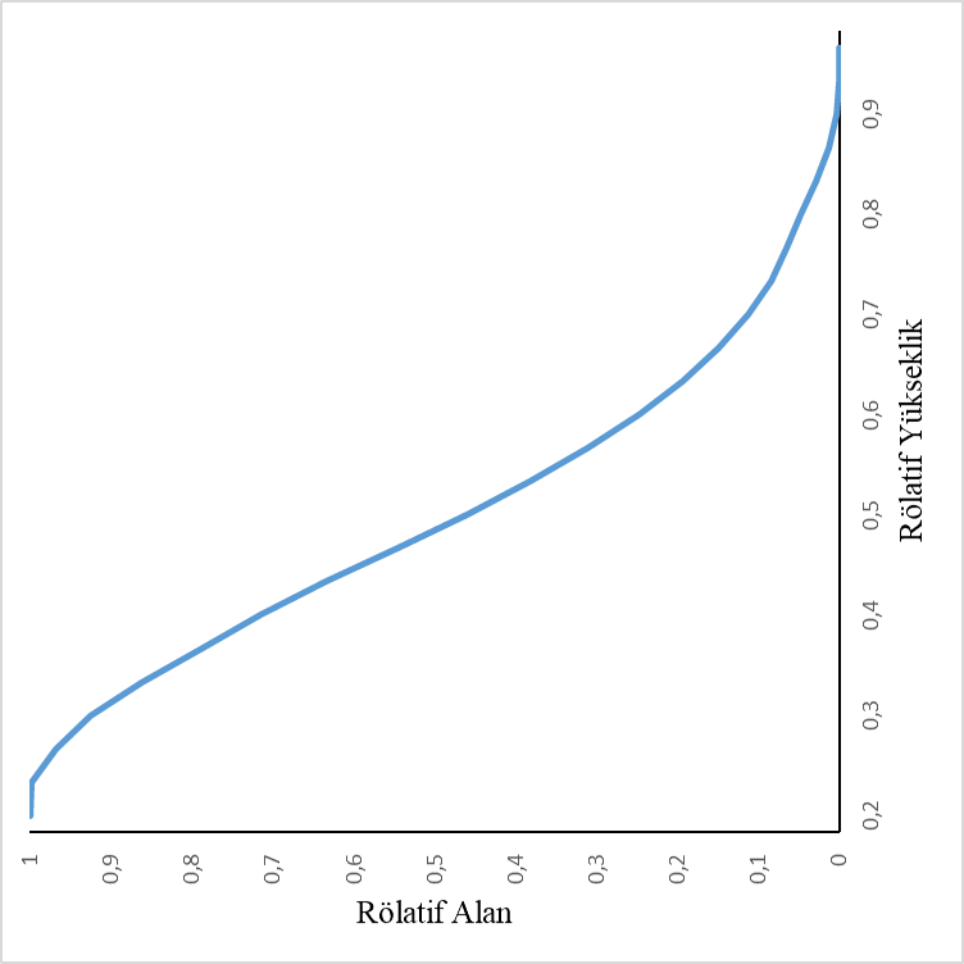
A: Havzanın gerçek alanıdır (m^2).

Ardıçtepe Barajı Havzası'na ait hipsometrik eğri verileri incelendiğinde, rölatif yükselti (h/H) ile bağıl alan (a/A) arasındaki ilişkinin havzanın olgunluk evresinde olduğunu kanıtladığı görülmektedir. Alanın yaklaşık %50'sinin 600 metre rölatif yükselti seviyesinin altında kalması, sahanın akarsu şebekesi tarafından ileri derecede parçalandığını ve jeomorfolojik gelişiminde denge safhasına ulaştığını ortaya koymaktadır. Bu durum, Strahler (1952a) tarafından tanımlanan 'olgun havza'

Tablo 41. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın Hipsometrik Eğri Verileri

Yükselti (h)	Max. Yük. (H)	Gerçek Alan (a)	Toplam Alan (A)	Rölatif Alan (a/A)	Rölatif Yük. (h/H)
237	1340	257,3	257,3	1,0	0,2
250	1340	256,7	257,3	1,0	0,2
300	1340	249,3	257,3	1,0	0,2
350	1340	238,0	257,3	0,9	0,3
400	1340	222,0	257,3	0,9	0,3
450	1340	203,1	257,3	0,8	0,3
500	1340	183,9	257,3	0,7	0,4
550	1340	163,3	257,3	0,6	0,4
600	1340	140,3	257,3	0,5	0,4
650	1340	118,4	257,3	0,5	0,5
700	1340	98,4	257,3	0,4	0,5
750	1340	80	257,3	0,3	0,5
800	1340	63,7	257,3	0,2	0,6
850	1340	49,8	257,3	0,2	0,6
900	1340	38,3	257,3	0,1	0,7
950	1340	28,9	257,3	0,1	0,7
1000	1340	21,8	257,3	0,1	0,7
1050	1340	16,9	257,3	0,1	0,8
1100	1340	12,2	257,3	0,0	0,8
1150	1340	7,4	257,3	0,0	0,9
1200	1340	3,4	257,3	0,0	0,9
1250	1340	1	257,3	0,0	0,9
1300	1340	0,2	257,3	0,0	1,0
1340	1340	0	257,3	0,0	1,0

Kaynak: Orijinal



Şekil 41. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın Hipsometrik Eğrisi

Kaynak: Orijinal

karakteriyle örtüşmekte olup, havzadaki erozyonel sürecin dinamizmini koruduğuna ve baraj rezervuarına yönelik sediman iletiminin devam ettiğine işaret etmektedir.

Ardıçtepe Barajı Havzası için hazırlanan hipsometrik eğri (Şekil 41), Strahler (1952a) tarafından tanımlanan 'denge safhası' (mature stage) ile tam bir uyum sergilemektedir. Eğrinin S-tipi profili, havzanın jeomorfolojik gelişiminde orta aşamada olduğunu ve erozyonel faaliyetlerin durağanlaşmadığını kanıtlamaktadır. Rölatif alan ve yükseltinin oransal dağılımı incelendiğinde, havza kütlesinin önemli bir kısmının orta yükseltilerde toplandığı, bu durumun ise sahadaki yüzeysel aşınım süreçlerini baraj rezervuarı için sürekli bir sediman kaynağı haline getirdiği anlaşılmaktadır.

4.1.1.4.1.3.7. Hipsometrik İntegral (H_i)

Havzanın morfolojik gelişimini ve erozyonel evrim aşamasını sayısal olarak ifade eden en temel parametre Hipsometrik İntegral (H_i) değeridir. Hipsometrik eğrinin altında kalan alanı temsil eden bu değer, başlangıçtaki kütle rezervinin ne kadarının korunduğunu ya da ne kadarının akarsu ağları tarafından aşındırıldığını göstermektedir. Literatürde bu değerin hesaplanması üzerine yapılan çalışmalarda, Pike ve Wilson (1971), integralin doğrudan 'yükseltiden-rölyefe oran' (elevation-relief ratio) yöntemiyle hesaplanabileceğini ortaya koyarak, kompleks integral işlemlerine pratik ve güvenilir bir alternatif sunmuşlardır. Mayer (1990) ise hipsometrik integralin sadece aşınım durumunu değil, havzanın tektonik aktivite ve kayaç direnci altındaki jeomorfolojik tepkilerini de yansıttığını belirterek bu parametrenin havza analizlerindeki önemini pekiştirmiştir. Ardıçtepe Baraj Havzası özelinde hesaplanan H_i değeri, havzanın erozyonel iştahını ve baraj rezervuarını tehdit eden sediman üretiminin zamansal sürekliliğini anlamak adına kritik bir gösterge niteliği taşımaktadır.

Formülün uygulanması (Pike ve Wilson, 1971):

$H_i = H – H_{min} / H_{max} - H_{min}$

H: Ortalama havza yüksekliği (m),

H_{max}: Maksimum havza yüksekliği (m),

H_{min}: Minimum havza yüksekliğidir (m).

$H_i = 650 – 237 / 1340 – 237$

$H_i = 413 / 1103 = 0,37$

Ardıçtepe Baraj Havzası için hesaplanan 0,37 hipsometrik integral (H_i) değeri, havzanın jeomorfolojik gelişim döngüsünde 'geç olgunluk' evresinde olduğunu ve erozyonel süreçlerin başlangıçtaki kütlenin yaklaşık %63'ünü aşındırarak uzaklaştırdığını göstermektedir. Strahler (1952a) ve Mayer (1990) tarafından tanımlanan sınıflamalara göre bu değer, havzanın denge profiline yaklaştığını ancak henüz tam bir durağanlığa (peneplepleşmeye) erişmediğini kanıtlamaktadır. Erozyon açısından bu durum, havzadaki dikey aşınmanın (yatak derinleşmesinin) hız kestiğini, buna karşılık yamaç süreçlerinin ve yanal aşınmanın baskın hale geldiğini işaret eder. Havza kütlesinin büyük oranda parçalanmış olması, baraj rezervuarını besleyen akarsu

ağlarının 'sediman iletim verimliliğinin' yüksek olduğunu; yani yamaçlardan kopan her bir taneciğin engellere takılmadan baraj gölüne ulaşma eğiliminde olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, H_i değerinin 0,35 eşiğine bu denli yakın olması, havzada büyük ölçekli ve hırçın kütle hareketlerinden ziyade, havza tabanındaki birikim süreçlerinin ve ince materyal taşınımının baraj ömrü üzerindeki temel belirleyici faktör olacağını ortaya koymaktadır.

4.1.1.4.1.4. Erozyon ve Havza Karakteri Genel Değerlendirmesi

Ardıçtepe Baraj Havzası üzerinde gerçekleştirilen morfometrik analizler, havzanın jeomorfolojik açıdan "geç olgunluk" evresinde olduğunu ve erozyonel süreçlerin yüksek bir enerjiyle devam ettiğini kanıtlamaktadır. Havzanın Hipsometrik İntegral (H_i) değerinin 0,37 olarak hesaplanması ve S-biçimli eğri profili, başlangıçtaki kütlenin yaklaşık %63'ünün aşındırılarak uzaklaştırıldığını, sahanın denge profiline yaklaştığını ancak henüz dinamizmini kaybetmediğini göstermektedir. Bu dinamizm, 1103 metrelik havza rölyefi (B_h) ve bu rölyefin drenaj yoğunluğuyla birleşmesi sonucu ortaya çıkan 3,51'lik yüksek Engebelilik Değeri (R_n) ile desteklenmektedir.

Havzanın drenaj karakteri incelendiğinde; 3,19 km/km^2 olan Drenaj Yoğunluğu (D_d) ve 7,06 olan Akarsu Sıklığı (F_s), birim alana düşen kanal sayısının oldukça fazla olduğunu ortaya koymaktadır. Bu sık drenaj ağı, yüzey akışına geçen suların hızla toplanmasını sağlamakta, bu durum ise 0,05'lik Rölyef Uzunluk Oranı (R_{lr}) ile birleşerek güçlü bir sediman iletim mekanizması oluşturmaktadır. Diğer bir deyişle, havzanın yukarı kesimlerinde aşınan malzeme, topografik gradyanın (eğimin) sağladığı enerji sayesinde baraj rezervuarına kadar kesintisiz bir şekilde taşınabilmektedir.

Sonuç olarak, Ardıçtepe Baraj Havzası'nın morfometrik yapısı; yüksek parçalanmışlık düzeyi, oturmuş drenaj ağı ve belirgin rölyef enerjisiyle karakterize olmaktadır. Gravelius İndeksi'nin (K_g) 1,72 gibi yüksek bir değerde olması, havzanın dairesellikten uzak, uzun bir form sergilediğini ve suların baraj gölüne ulaşma süresinin (konsantrasyon süresi) nispeten yayıldığını gösterse de havzadaki mevcut erozyon potansiyeli barajın ekonomik ömrü üzerinde belirleyici bir risk faktörü olmaya devam etmektedir.

4.1.1.4.2. MPSIAC Akım (Drenaj Yoğunluğu) Faktörü

Akım (runoff) faktörü, yüzey akışının şiddetini ve sıklığını ifade eden bir parametredir. Yüzeyde biriken yağış sularının ne derece hızlı aktığını ve bu akışın erozyona katkısını belirlemede kullanılır. Yüzey akışı ne kadar fazlaysa, suyun toprak parçacıklarını taşıma ve erozyon oluşturma kapasitesi o kadar artar. Yağış miktarı ve şiddeti, eğim oranı, toprak geçirgenliği, bitki örtüsü durumu, zemin kullanım şekli (tarım, yerleşim vb.) ve zemin yüzeyi özellikleri (çatlaklı, sıkıştırılmış vb.) akım faktörünü etkileyen unsurlardır.

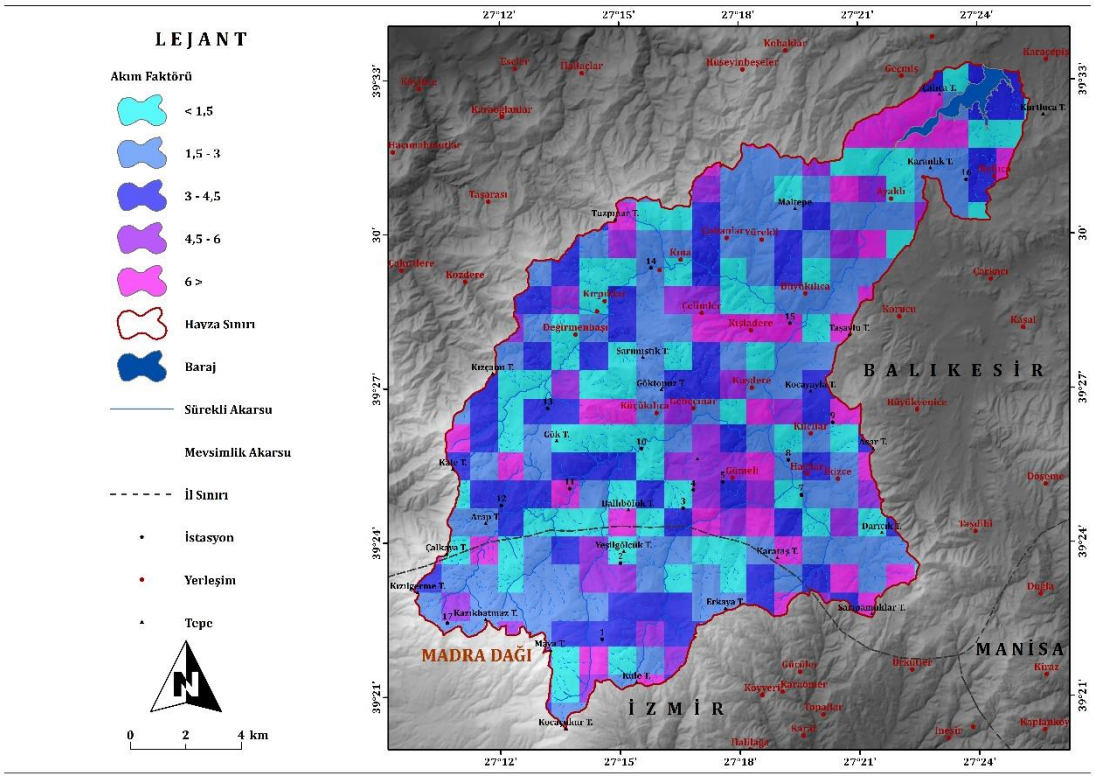
Akım, erozyonun hem başlangıç tetikleyicisi hem de taşıyıcısıdır. Akımın şiddeti ve süresi arttıkça erozyon miktarı da doğru orantılı olarak artar. Bu nedenle, erozyonla mücadelede akım faktörü en kritik hidrolojik parametrelerden biridir.

MPSIAC yöntemine göre drenaj yoğunluk faktörünün hesaplanmasında $0{,}006R+10Q_p$ formülü (PSIAC, 1968; Johnson ve Gebhardt, 1982) kullanılmıştır. Formülde yer alan "R" bir yıl içindeki anlık en yüksek akımı ifade etmektedir. Su yılı değil, takvim yılı baz alınmalıdır. Çalışma alanında bir yıl içindeki anlık en yüksek akım (D03A024 numaralı istasyonda) 82,500 m^3/sn'dir. Formülde yer alan "Q_p" ise drenaj yoğunluğunu ifade etmektedir. ArcMap'de ArcToolbox / Spatial Analyst Tools / Map Algebra / Raster Calculator tıklandıktan sonra MPSIAC akım formülü yazılırken "Q_p" için drenaj yoğunluğu katmanının seçilmesi gerekmektedir. Dikkat edilmesi gereken nokta, drenaj yoğunluğu katmanının raster veri olması gerekliliğidir.

Akım Faktörü, MPSIAC yönteminde yüzey akış miktarını ve bu akışın erozyon potansiyeline etkisini değerlendirmek için kullanılır. Genellikle yüzey akışı arttıkça toprak erozyonu riski de artar. Bu bağlamda, Ardıçtepe Barajı Havzası'nda MPSIAC yöntemine göre drenaj yoğunluğu (akım faktörü) ortalama olarak 3,48 m olarak hesaplanmıştır (Şekil 42). Elde edilen bulgulara göre drenaj yoğunluğu 0,5 ile 15,7 m arasında değişkenlik göstermektedir. En yüksek drenaj yoğunluğu havzanın kuzeyinde yer alan Geçmiş yerleşim biriminin güneyinde, Kışladere'de, Taşavlu Tepe, Karataş Tepe, Sarıpamuklar Tepe, Kule Tepe'de ve 11 numaralı istasyonun bulunduğu yüzeylerde yoğunlaşmıştır. Bu arazi yüzeyleri üzerinde akarsu yoğunluğu >6 m'dir; dolayısıyla bu alanlar, su birikiminin yoğun olduğu, yüzey akışının fazla olduğu ve dolayısıyla erozyon potansiyelinin çok yüksek olduğu sahaları temsil etmektedir. Bu yüzeyler üzerinde meydana gelebilecek toprak erozyonu yüksek risk grubu içerisinde

değerlendirilmektedir. Nitekim yüksek drenaj yoğunluğuna sahip araziler, parmak ve oyuntu erozyonunun meydana gelmesi için oldukça elverişlidir. Özellikle tarım yapılan eğimli arazilerde bu durum önem teşkil etmektedir.

Baraj havzasında drenaj yoğunluğunun ikinci derecede önem arz ettiği noktalar; havzanın orta kesiminde yer alan Çelimler ve Gümeli yerleşim birimleri ile 4 ve 5 nolu istasyonların bulunduğu alanlardır ve bu alanlar 4,51-6 m arasında drenaj yoğunluğuna sahip arazi yüzeyleridir. Buralarda dere yataklarının gelişmiş olduğu, akışın kontrollü ancak yine de önemli olduğu sahalar yer almaktadır.



Şekil 42. Ardıçtepe Barajı Havzası MPSIAC Yöntemine Göre Akım Faktör Haritası

Kaynak: Orijinal

Çalışma sahasında 3,01-4,5 arasında drenaj yoğunluğuna sahip araziler: 1, 3, 12 ve 13 numaralı istasyonlar; Haydar ve Mallıca yerleşim birimleri ile Kale T., Kızılgerme T., Asar T. ve Kocayayla Tepe'nin bulunduğu alanlardır. 1,51-3 arasında drenaj yoğunluğuna sahip araziler: 8, 14 ve 16 numaralı istasyonlar; Çobanlar, Yürekli, Büyükılıca, Kuşdere, Küçükılıca, Gebeçınar, Kılcılar ve İkizce yerleşim birimleri ile Karanlık T., Maltepe, Sarımıstık T., Göktopuz T., Erkaya T., Kocaçukur T., Arap T. ve Kazıkbatmaz Tepe'nin bulunduğu alanlardır. Çalışma sahasında 1,5 metreden düşük drenaj yoğunluğuna sahip araziler ise: 2, 3, 7 ve 10 numaralı istasyonlar; Ayaklı, Kına,

Kırpıklar ve Değirmenbaşı yerleşim birimleri ile Gök T., Darıcık T., Yeşilgölcük T. ve Çalkaya Tepe'nin bulunduğu alanlardır. 1,5 metreden düşük drenaj yoğunluğuna sahip araziler, yüzey akışının sınırlı olduğu alanlardır ve bu alanlar toprak erozyonunun drenaj yoğunluğu adına en düşük risk taşıyan arazileri olarak tanımlanabilir.

4.1.1.5. Topoğrafya (X_5) Faktörü

Topoğrafya, erozyon süreçlerinin oluşumu ve şiddeti üzerinde doğrudan etkili olan temel doğal faktörlerden biridir. Arazi yüzeyinin eğim, yükselti, bakı ve relief özellikleri; yüzey akışının hızını, suyun taşıma kapasitesini ve sediment hareketini kontrol ederek erozyonun alansal dağılışını belirlemektedir. Özellikle eğim değerindeki artış, yüzey akışının kinetik enerjisini artırarak toprak kaybı riskini yükseltmektedir. Bunun yanında bakı koşulları, güneşlenme ve nem farklılıkları üzerinden bitki örtüsünün gelişimini etkileyerek dolaylı biçimde erozyon duyarlılığı üzerinde rol oynamaktadır. Bu nedenle topoğrafik parametrelerin değerlendirilmesi, erozyon risk analizlerinde önemli bir aşama olarak kabul edilmektedir.

4.1.1.5.1. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın Jeomorfolojik Özellikleri

Jeomorfolojik Birimlerin Erozyon Üzerindeki Etkisi (Şekil 43)

Ardıçtepe Barajı Havzası'nın jeomorfolojik yapısı incelendiğinde havzanın büyük ölçüde plato sahalarından oluştuğu görülmektedir. Yapılan alan hesaplamalarına göre plato sahaları yaklaşık 223,9 km² ile havzanın en geniş bölümünü kaplamaktadır. Buna karşılık ovalar ve vadi tabanları yaklaşık 9 km²'lik sınırlı bir alan kaplarken, dağlık alanlar ise yaklaşık 22 km² civarında yayılış göstermektedir. Bu dağılış, havzada aşınım süreçlerinin özellikle plato yüzeyleri ve plato yamaçlarında yoğunlaşabileceğini göstermektedir.

Plato sahalarının geniş yer kaplaması, yüzeysel akışın uzun mesafelerde devam etmesine olanak sağlamakta ve özellikle eğimin arttığı plato kenarlarında çizgisel erozyon süreçlerini kuvvetlendirmektedir. Havzanın güney ve güneybatı kesimlerinde Madra Dağı kütlesine karşılık gelen dağlık alanlarda ise eğim değerlerinin yükselmesiyle birlikte yüzey akışının hızlandığı ve buna bağlı olarak şiddetli erozyon riskinin arttığı anlaşılmaktadır.

Ovalar ve vadi tabanları ise düşük eğim koşulları nedeniyle daha çok birikim alanları niteliği taşımaktadır. Bununla birlikte bu alanlar, üst havzalardan taşınan sedimentlerin depolandığı sahalar olduğundan dolaylı olarak erozyon süreçlerinin sonuç alanlarını oluşturmaktadır.

Yükselti Özellikleri ve Erozyon İlişkisi (Şekil 44)

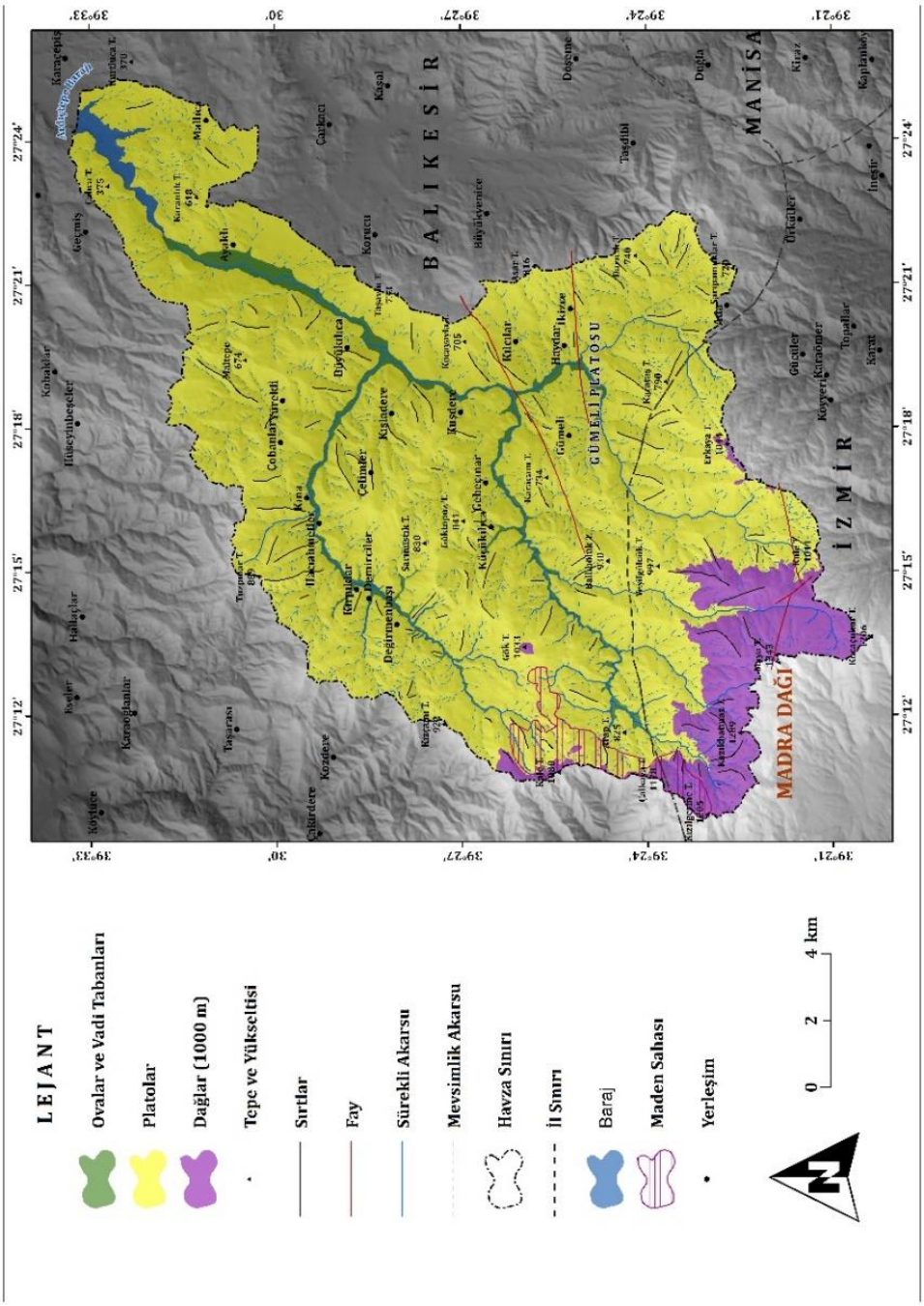
Sayısal yükselti modeli incelendiğinde havzada yükseltinin kuzeydoğudan güneybatıya doğru belirgin biçimde arttığı görülmektedir. Havzanın en düşük kesimleri Ardıçtepe Barajı çevresinde yaklaşık 237 m seviyelerinde bulunurken, en yüksek noktalar Madra Dağı çevresinde 1340 m'ye ulaşmaktadır.

Bu yükselti farkı havza içerisinde yüksek rölyef enerjisinin gelişmesine neden olmuştur. Rölyef enerjisinin artması, akarsuların aşındırma gücünü artırarak özellikle yamaç alanlarında oyuntu erozyonu ve yüzey aşınımını kuvvetlendirmektedir. Ayrıca yükseltinin arttığı kesimlerde eğim değerlerinin de artış göstermesi, erozyonun alansal dağılışını doğrudan etkilemektedir.

Özellikle güney kesimlerde topoğrafyanın kısa mesafede büyük yükselti farkları göstermesi, akış hızını artırarak sediment taşınım kapasitesini yükseltmektedir. Bu durum havzanın üst kesimlerinin sediment üretim alanı niteliği taşıdığını göstermektedir.

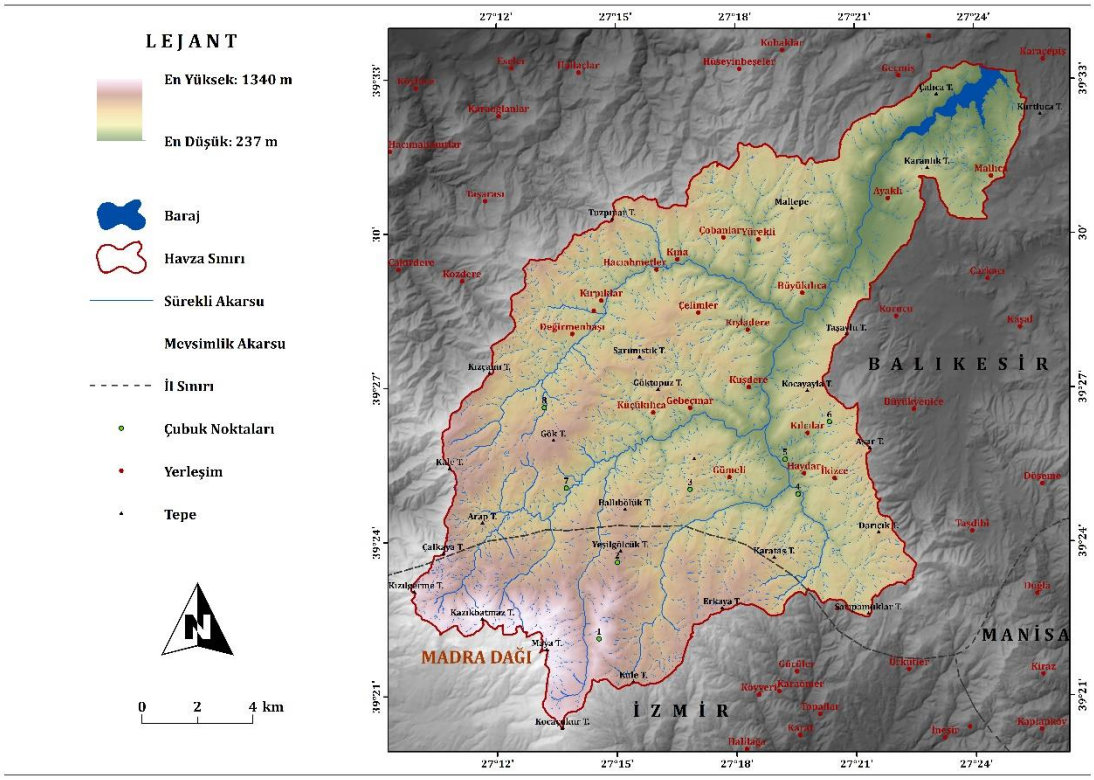
Yüzey Eğriselliği ve Erozyon Süreçleri (Şekil 45)

Yüzey eğriselliği haritası incelendiğinde havzanın büyük bölümünde pozitif eğrisellik değerlerinin hâkim olduğu görülmektedir. Pozitif eğrisellik gösteren dışbükey yamaçlar, yüzey akışının hızlanmasına neden olmakta ve bu alanlarda toprak taşınımını artırmaktadır. Bu nedenle dışbükey topoğrafik birimlerin bulunduğu sahalarda erozyon duyarlılığının daha yüksek olduğu söylenebilir.



Şekil 43. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın Jeomorfoloji Haritası

Kaynak: Orijinal

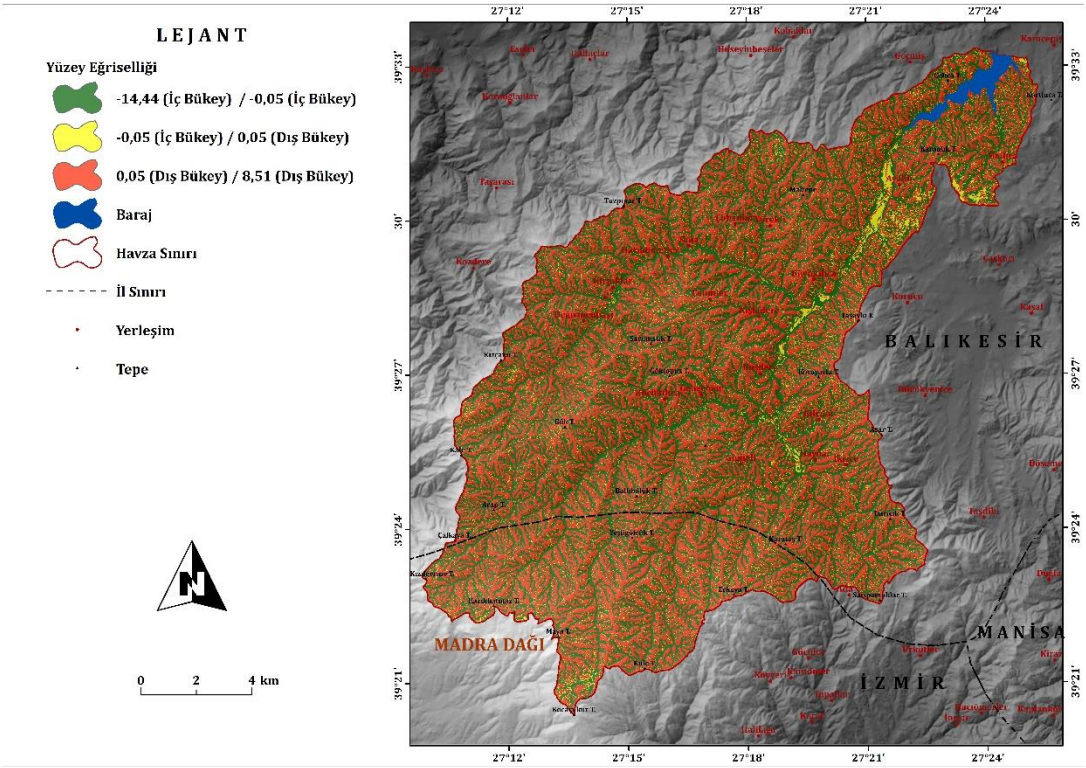


Şekil 44. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın Sayısal Yükselti Modeli Haritası

Kaynak: Orijinal

Negatif eğrisellik gösteren içbükey alanlarda ise yüzey akışının yavaşladığı ve sediment birikiminin arttığı anlaşılmaktadır. Özellikle akarsu vadileri boyunca görülen içbükey yüzeyler, taşınan materyalin depolandığı geçiş alanları oluşturmaktadır.

Havzada yüzey eğriselliğinin oldukça parçalı bir dağılış göstermesi, topoğrafik diseksiyonun ileri seviyede olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, havzada akışın kısa mesafelerde yön ve hız değiştirmesine neden olarak erozyon süreçlerini karmaşıklaştırmaktadır.



Şekil 45. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın Yüzey Eğriselliği (Yamaç Formları) Haritası

Kaynak: Orijinal

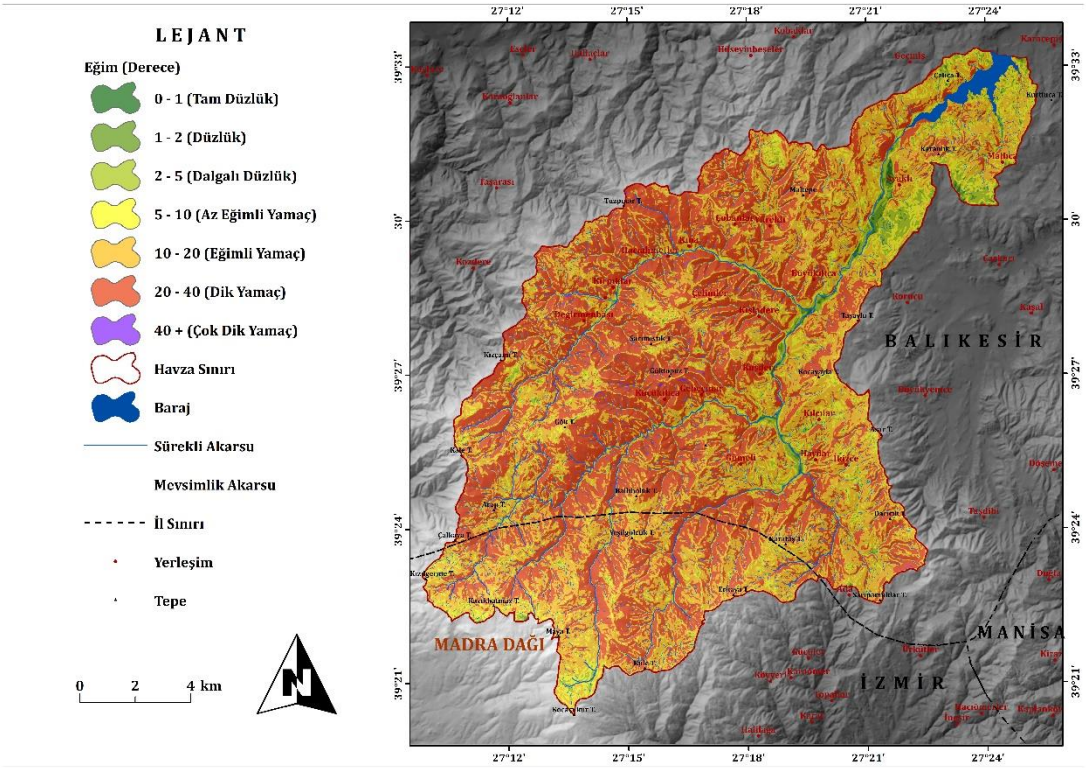
Eğim Özellikleri ve Erozyon Riski (Şekil 46)

Eğim haritası değerlendirildiğinde havzanın geniş bir bölümünde %10'un üzerindeki eğim değerlerinin yaygın olduğu görülmektedir. Özellikle Madra Dağı çevresi ile plato kenarlarında 20°–40° ve yer yer 40° üzerindeki çok dik yamaçların bulunması dikkat çekmektedir.

Eğim değerlerinin artması, yüzey akışının hızını ve kinetik enerjisini artırarak toprağın taşınabilirliğini yükseltmektedir. Bu nedenle yüksek eğimli sahalar havza içerisindeki en yüksek erozyon riskine sahip alanlar olarak değerlendirilebilir.

Buna karşılık Ardıçtepe Barajı çevresi ile ana vadi tabanlarında düşük eğim değerleri hâkimdir. Bu alanlarda yüzey akışı daha düşük enerjiye sahip olduğundan birikim süreçleri ön plana çıkmaktadır.

Eğim dağılışı genel olarak değerlendirildiğinde havzanın önemli bir kısmının orta ve yüksek eğim sınıflarında yer aldığı, bunun da erozyon duyarlılığını artıran temel topoğrafik faktörlerden biri olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 46. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın Eğim Haritası

Kaynak: Orijinal

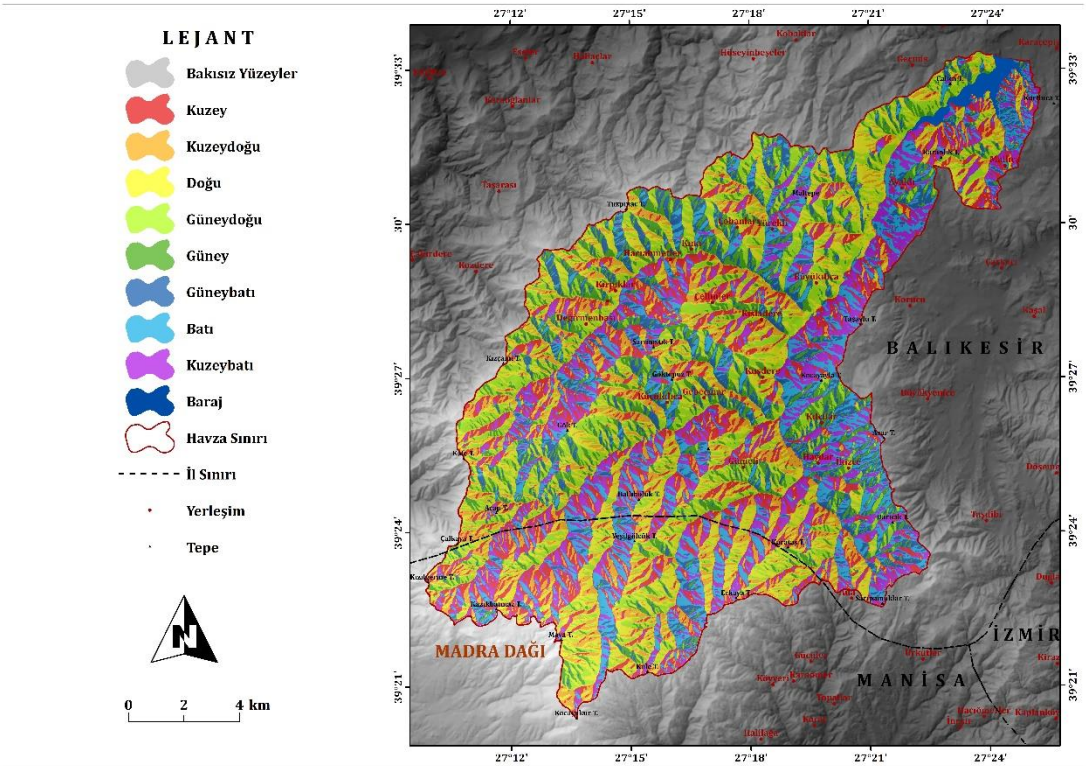
Bakı Özelliklerinin Erozyona Etkisi (Şekil 47)

Bakı haritası havzada farklı yönelimlere sahip yamaçların mozaik bir dağılış gösterdiğini ortaya koymaktadır. Özellikle kuzey ve güney bakılı yamaçların belirgin şekilde ayrışması, mikroklimatik farklılıkların gelişmesine neden olmaktadır.

Güney bakılı yamaçlar daha fazla güneşlenme nedeniyle daha yüksek buharlaşma değerlerine sahiptir. Bu durum toprak neminin azalmasına ve bitki örtüsünün seyrekleşmesine yol açarak yüzey erozyonuna karşı duyarlılığı artırabilmektedir.

Kuzey bakılı yamaçlarda ise nispeten daha nemli koşulların etkisiyle bitki örtüsü gelişiminin daha elverişli olduğu ve bunun erozyonu kısmen sınırlandırdığı değerlendirilmektedir.

Bakı farklılıkları aynı zamanda don çözülme süreçleri, toprak gelişimi ve yüzey akışı üzerinde etkili olduğundan havza içerisindeki erozyonun mekânsal farklılaşmasında önemli rol oynamaktadır.



Şekil 47. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın Bakı Haritası

Kaynak: Orijinal

Genel Topoğrafik Değerlendirme

Ardıçtepe Barajı Havzası, yüksek rölyef enerjisi, parçalanmış topoğrafik yapı, yaygın plato yüzeyleri ve yüksek eğimli yamaçları nedeniyle erozyona duyarlı bir morfolojik karakter göstermektedir (Şekil 48). Özellikle Madra Dağı çevresindeki dik yamaç alanları ile plato kenarları potansiyel sediment üretim sahaları niteliğindedir. Buna karşılık vadi tabanları ve düşük eğimli alanlar sediment birikim alanları olarak öne çıkmaktadır.

Topoğrafik parametrelerin birlikte değerlendirilmesi, havzada erozyon riskinin yalnızca eğime bağlı olmadığını; yükselti, yüzey eğriselliği, bakı ve jeomorfolojik birimlerin ortak etkisiyle şekillendiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 48. Kule Tepe'nin Kuzeybatısında Bulunan Çavdarlık Tepe (1. İstasyon) Üzerinde Yer Alan Orman Yangın Gözetleme Kulesi'nden (1248 m) Maya Tepe'nin Görünümü (Doğudan Batıya Doğru Çekildi). Maya Tepe'de Permiyen-Triyas Dönemine Ait Metakırıntılı Kayaçlar Üzerinde Gelişen Kireçsiz Kahverengi Orman Toprakları Yer Almaktadır.

Kaynak: Orijinal

4.1.1.5.2. MPSIAC Yöntemine Göre Topoğrafya Faktörünün (X_5) Belirlenmesi

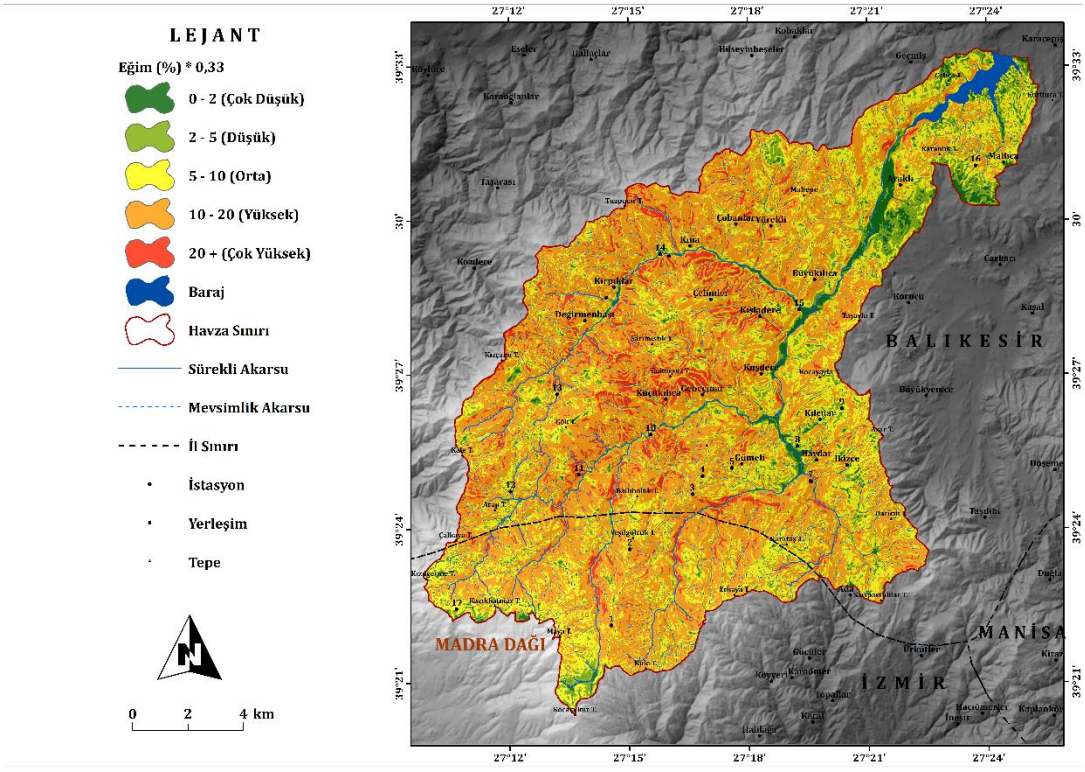
MPSIAC modeli kapsamında oluşturulan topoğrafya faktörü haritası, havza içerisindeki eğim koşullarının erozyon duyarlılığı üzerindeki etkisini ortaya koymaktadır (Şekil 49). Eğim değerlerinin %0–2 arasında olduğu alanlar "çok düşük", %20'nin üzerindeki alanlar ise "çok yüksek" topoğrafik risk sınıfı olarak değerlendirilmiştir. Harita genel olarak incelendiğinde havzanın önemli bir bölümünde orta, yüksek ve çok yüksek topoğrafik risk sınıflarının yaygın olduğu görülmektedir.

Özellikle havzanın güney ve güneybatı kesimlerinde, Madra Dağı çevresinde topoğrafik risk değerlerinin belirgin biçimde arttığı dikkat çekmektedir. Bu alanlarda eğim değerlerinin yükselmesi yüzey akışının hızını artırmakta, infiltrasyonu azaltmakta ve akarsuların taşıma kapasitesini güçlendirmektedir. Buna bağlı olarak söz konusu sahalarda yüzey erozyonu, oyuntu erozyonu ve sediment taşınımı süreçlerinin daha yoğun gelişebileceği değerlendirilmektedir.

Havzanın plato sahalarında topoğrafik risk genellikle orta ve yüksek sınıflarda yoğunlaşmaktadır. Plato yüzeylerinin nispeten düşük eğimli olmasına rağmen plato kenarlarında eğimin ani şekilde artması, yüzey akışının kısa mesafede enerji kazanmasına neden olmakta ve erozyon duyarlılığını artırmaktadır. Özellikle akarsu ağları tarafından yoğun biçimde yarılmış topoğrafik yapı, yüzey akışını hızlandırarak erozyon duyarlılığını artırmaktadır.

Buna karşılık ana akarsu vadileri, vadi tabanları ve Ardıçtepe Barajı çevresindeki düşük eğimli alanlarda topoğrafik riskin düşük ve çok düşük sınıflarda toplandığı görülmektedir. Bu alanlarda yüzey akış hızının azalması nedeniyle aşınımdan çok sediment birikim süreçleri etkili olmaktadır.

Haritada topoğrafik risk sınıflarının akarsu ağları boyunca doğrusal bir dağılış göstermesi, drenaj sisteminin topoğrafik kontrol altında geliştiğini ortaya koymaktadır. Özellikle yan dere yatakları boyunca yüksek eğim değerlerinin yoğunlaşması, yüzey akışının kanalize olarak oyuntu gelişimini desteklediğini göstermektedir.



Şekil 49. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın MPSIAC Topoğrafya Faktörü Haritası

Kaynak: Orijinal

Schmidt çekici ölçümlerinin gerçekleştirildiği istasyon noktalarının topoğrafik risk alanlarıyla birlikte değerlendirilmesi, havzadaki litolojik direnç ile topoğrafik

süreçlerin ilişkisini ortaya koyması bakımından önemlidir. Özellikle yüksek topoğrafik risk sınıflarında yer alan istasyonlarda düşük yüzey sertliği değerlerinin belirlenmesi durumunda, bu alanların erozyona karşı daha hassas olduğu söylenebilir. Buna karşılık yüksek eğimli sahalarda sert kayaçların bulunması, topoğrafik riskin yüksek olmasına rağmen aşınım hızını kısmen sınırlandırabilmektedir. Bu nedenle topoğrafik faktör ile kayaç dayanımının birlikte değerlendirilmesi, havzadaki gerçek erozyon duyarlılığının belirlenmesinde önemli katkı sağlamaktadır.



Şekil 50. Kule Tepe'nin Kuzeybatısında Bulunan Çavdarlık Tepe (1. İstasyon) Üzerinde Yer Alan Orman Yangın Gözetleme Kulesi'nden (1248 m) Maden Sahası'nın Görünümü

Kaynak: Orijinal

Genel olarak değerlendirildiğinde Ardıçtepe Barajı Havzası'nın topoğrafik yapısı, özellikle yüksek eğimli yamaçlar, parçalanmış plato yüzeyleri ve yüksek rölyef enerjisi nedeniyle erozyon süreçlerini hızlandırıcı bir karakter göstermektedir (Şekil 50 ve 51). Bu durum havzanın özellikle üst kesimlerinde sediment üretiminin arttığını, düşük eğimli vadi tabanlarında ise taşınan materyalin depolandığını ortaya koymaktadır.

4.1.1.6. Arazi Yüzey Kapalılık (X_6) Faktörü

Bitki örtüsü, yeryüzü şekillerinin oluşumunda ve morfolojik süreçlerin evriminde belirleyici bir rol oynamaktadır. Özellikle erozyonun etkinliği, hızı ve yayılım biçimi üzerinde bitki örtüsünün varlığı ve yoğunluğu büyük ölçüde etkili olmaktadır. Kapalılığı yüksek olan ve bitki örtüsüyle iyi korunan sahalarda toprak stabilitesi artmakta, buna karşılık bitki örtüsünün zayıf ya da yok denecek kadar az olduğu alanlarda yüzey akışı, oyuntu erozyonu, sel taşkınları ve kütle hareketleri gibi jeomorfolojik süreçler daha etkin hâle gelmektedir. Özellikle bitki örtüsü tarafından korunmayan eğimli arazilerde yağış damlalarının doğrudan toprak yüzeyine ulaşması hem toprağın fiziksel yapısını bozmakta hem de yüzeysel taşınımı artırmaktadır. Bu durum yalnızca yüzeysel erozyonla sınırlı kalmamakta, aynı zamanda sediment taşınımını ve tortul birikimini de tetiklemektedir.



Şekil 51. Miyosen'e Ait Andezit-Tüf Üzerinde Gelişen Kireçsiz Kahverengi Orman Topraklarında Bulunan Gök Tepe'den Gebeçınar Yerleşim Alanının Görünümü

Kaynak: Orijinal

Araştırma sahasında da bu genel eğilimler açıkça gözlenmektedir. Özellikle yüksek eğim değerlerine sahip alanlarda kapalılığı yüksek olan ormanlık kesimlerde erozyon riski görece düşükken, bitki örtüsünün tahrip edildiği veya zayıf kaldığı kesimlerde bu risk belirgin şekilde artmaktadır. Nitekim saha gözlemleri, farklı kapalılık derecelerine sahip doğal ve antropojenik arazi birimlerinin yan yana ve iç içe geçtiğini göstermektedir. Doğal bitki örtüsünün tahrip edilerek ortadan kaldırıldığı bölgeler genellikle ova ve vadi tabanlarında, Neojen arazisinin yoğunlukla yer aldığı tarım alanlarında yoğunlaşmıştır. Bu alanlar, bitki örtüsünün yokluğu nedeniyle hem yüzeysel hem de doğrusal erozyon (oluk, vadi ve yarık) süreçlerine karşı oldukça duyarlıdır.

<%10 kapalılık oranı (13.365 ha – %52,38): Yüzeyin yarısından fazlasını bu grup oluşturmaktadır ve tarım arazileri, yerleşim yerleri, nehir, baraj, mezarlık gibi doğal veya yapay olarak bitki örtüsünden yoksun alanları içermektedir. Bu alanlar, erozyon riski açısından yüksek duyarlılığa sahip olmaktadır. Bitki örtüsünün azlığı toprak kaybını kolaylaştırır ve özellikle tarım arazilerinde doğru toprak işleme ve bitkisel koruma önlemleri alınmazsa erozyon ciddi bir sorun haline gelebilir. %11–40 kapalılık oranı (1.663 ha – %6,52): Mera alanları bu sınıfa girmekte ve kapalılığın düşük olması otlakların seyrek olduğunu göstermektedir. Meralar, eğer aşırı otlatma varsa hızla bozulabilir ve erozyona karşı daha savunmasız hale gelir. Neyse ki bu oran havzada oldukça düşük ve havzanın sadece küçük bir bölümünü kapsamaktadır. %41–70 kapalılık oranı (5.720 ha – %22,42): Bu grupta karaçam (*Pinus nigra*), fundalık ve fıstık çamı (*Pinus pinea l.*) gibi türler yer almakta ve orta derecede kapalılık söz konusudur. Bu alanlar erozyona karşı kısmen korunaklıdır. Özellikle fundalıklar ve çam türleri, eğimli alanlarda toprağı tutmada etkili olmaktadır. Bu alanların korunması, artan eğimlerde erozyonun önlenmesinde kritik rol oynamaktadır. %71–100 kapalılık oranı (4.768 ha – %18,69): Yoğun ormanlık alanlar bu sınıfa girmektedir ve türler arasında karaçam (*Pinus nigra*), kızılçam (*Pinus brutia*), saçlı meşe (*Quercus cerris l.*), Macar meşesi (*Quercus frainetto ten.*), kestane (*Castanea sativa*) bulunmaktadır. Bu alanlar erozyona karşı en dirençli bölgeleri oluşturmaktadır. Yüzeyin yaklaşık beşte birini oluşturan bu alanların korunması ve artırılması, havzanın genel erozyon kontrolü açısından büyük öneme sahiptir. Özellikle saçlı meşe (*Quercus cerris l.*) ve kestane (*Castanea sativa*) gibi geniş yapraklı türler, yaprak dökme dönemleri boyunca toprağa organik madde katkısı yaparak toprak kalitesini artırmaktadır (Tablo 42).

Tablo 42. Ardıçtepe Barajı Havzası Yüzey Kapalılık Oranları Dağılımı

Kapalılık Oranı (%)	Alan (ha)	Oran (%)	Türler
<10	13.365	52,38	Tarım arazisi, yerleşim, nehir, baraj, mezarlık
11- 40	1.663	6,52	Mera
41- 70	5.720	22,42	Karaçam, fundalık, fıstık çamı
71- 100	4.768	18,69	Karaçam, kızılçam, saçlı meşe, macar meşesi, kestane

Kaynak: Orijinal

Arazi örtüsü ve kullanım şekli açısından bakıldığında, havzanın doğu ve kuzeydoğu kesimleri, geniş ölçüde sulu tarım ve nadaslı kuru tarım arazilerinden oluşmakta; bu bölgeler <10 kapalılık değerlerine sahip boşluklu sahalarla örtüşmektedir. Bu alanlarda doğal bitki örtüsünün yok edilmesiyle birlikte toprak doğrudan yağmur damlalarına ve yüzey akışına maruz kalmakta, bu da özellikle mevsimsel yağışlarda yüzeysel taşkınlara ve çizgisel erozyon gelişimine neden olmaktadır (Şekil 52).

Özellikle Neojen formasyonlarının yaygın olduğu ova ve vadi tabanlarında, bitki örtüsü neredeyse tamamen kaldırılmış; yerleşim ve tarımsal faaliyetlerin yoğunlaştığı bu kesimler, doğal süreçlere karşı en savunmasız alanları oluşturmuştur.

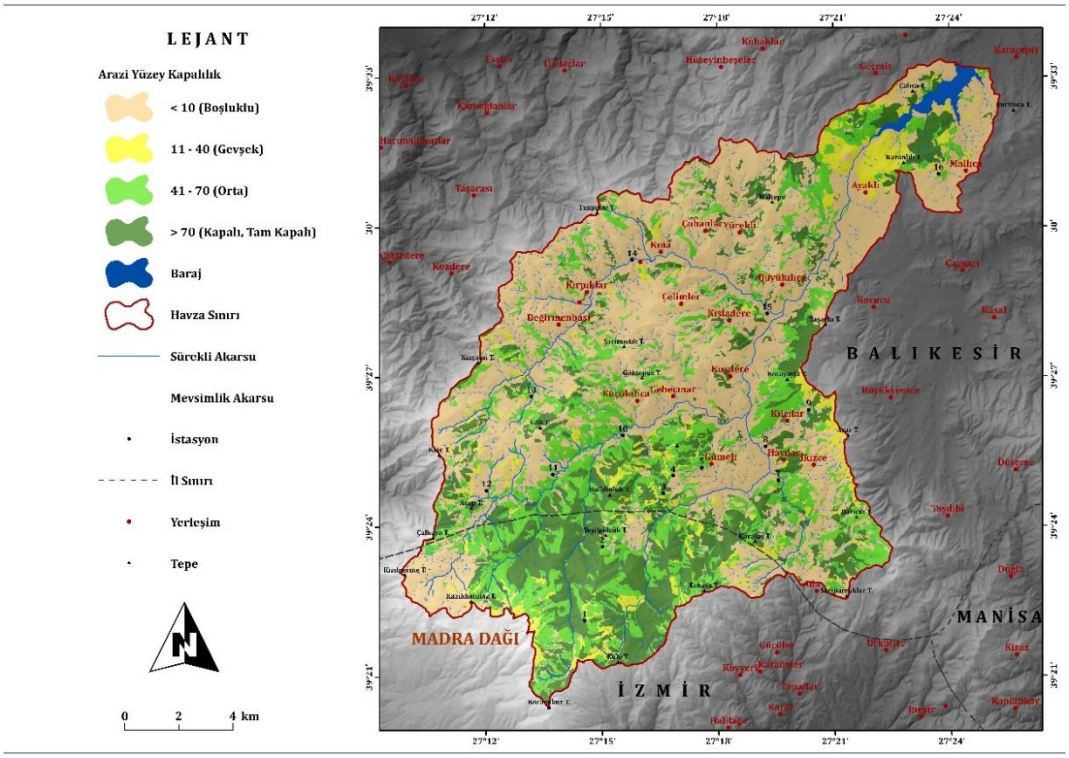
Araştırma sahasının güneybatı ve güneydoğusundaki yüksek kesimlerde, özellikle Madra Dağı'nın kuzey ve doğu yamaçları, Kule T., Kazıkbatmaz T., Yeşilgölcük T., ve Kocayayla Tepe çevresinde yoğunlaşan ormanlık alanlar (%70 üzeri kapalılık), toprak erozyonunu sınırlayan doğal tampon bölgeleri teşkil etmektedir. Bu alanlarda yaygın olarak gözlenen türler arasında kızılçam (*Pinus brutia*), kestane (*Castanea sativa*) ve meşe türleri (*Quercus spp.*) gibi erozyona karşı dirençli ağaç türleri bulunmaktadır. Ayrıca bu kesimlerde, nemli orman formasyonlarına özgü fındık (*Corylus avellana*), ıhlamur (*Tilia spp.*), çınar (*Platanus orientalis*) gibi yapraklı türlerin varlığı, mikroklimatik dengeyi desteklemektedir (Şekil 52).

Madra Dağı'nın yamaçlarında karaçam (*Pinus nigra*) ile kestane (*Castanea sativa*) birlikteliği, tahrip görmüş orman zonlarında ikincil orman oluşumunun bir örneğini teşkil etmektedir. Bu sahalar, sahip oldukları kapalılık sayesinde sel ve toprak taşınımını büyük oranda sınırlandırmakta; özellikle eğim ve bitki örtüsü kombinasyonunun sağladığı stabilizasyon, morfodinamik süreci yavaşlatmaktadır (Şekil 52).

Arazi kapalılığı haritası, %11–40 (gevşek) ve %41–70 (orta) kapalılığa sahip alanların havzanın büyük kısmını oluşturduğunu göstermektedir. Bu kesimlerde, bozuk orman ve maki formasyonları hâkimdir. Başlıca türler arasında kermez meşesi (*Quercus coccifera*), katran ardıcı (*Juniperus oxycedrus*), menengiç (*Pistacia lentiscus*), sandal (*Arbutus andrachne*), çitlenbik (*Celtis spp.*) ve böğürtlen (*Rubus fruticosus*) gibi Akdeniz maki elemanları yer almaktadır. Bu formasyonlar, her ne kadar tamamen koruyucu olmasa da çıplak zeminlere göre toprak erozyonunu önemli ölçüde azaltmaktadır. Ancak, bu alanların özellikle tarla açma, otlatma ve yangın gibi antropojenik baskılarla karşı karşıya kalması, uzun vadede bu tampon etkilerin zayıflamasına neden olmaktadır (Şekil 52).

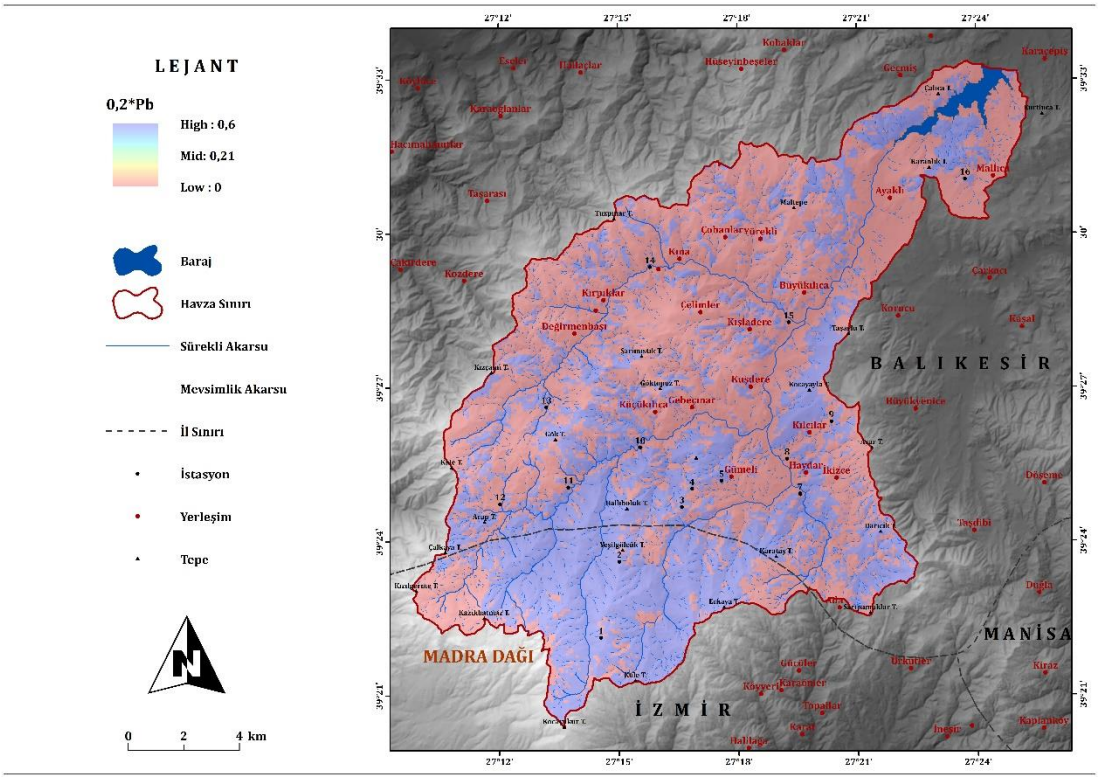
MPSIAC yöntemi (PSIAC, 1968; Johnson ve Gebhardt, 1982) kapsamında kullanılan "Arazi Yüzey Kapalılığı Faktörü", erozyonun meydana gelmesini önleyici veya geciktirici yüzey özelliklerinin derecesini belirlemek için kullanılan önemli parametrelerden biridir. Bu faktör, yüzeydeki kapalı veya koruyucu unsurların (bitki örtüsü, döküntü materyali, taşlık yüzey vb.) erozyon üzerindeki engelleyici etkisini değerlendirmek amacıyla kullanılmaktadır.

MPSIAC yöntemine göre oluşturulan yüzey kapalılık faktörü haritasında, havzanın güneybatı kesiminde yer alan ormanlık alanların düşük faktör değerlerine (0–0.2) sahip olduğu, buna karşılık kuzeybatı ve doğu kesimlerdeki tarımsal ya da çıplak alanların 0.4–0.6 arası yüksek faktör değerleriyle temsil edildiği belirlenmiştir. Bu durum, bölgedeki erozyon riskinin yüzey kapalılığı ile doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir (Şekil 53, 54 ve 55).



Şekil 52. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın Arazi Yüzey Kapalılık Haritası

Kaynak: Orijinal



Şekil 53. Ardıçtepe Barajı Havzası MPSIAC Yüzey Kapalılığı Dağılımı Haritası

Kaynak: Orijinal

Genel olarak değerlendirildiğinde, araştırma sahasında bitki örtüsünün kapalılığı ile erozyon süreçleri arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır. Bu ilişki hem arazi kullanım politikalarının hem de doğal bitki örtüsünün korunmasının erozyon kontrolü açısından ne denli önemli olduğunu ortaya koymaktadır (Şekil 53, 54 ve 55).

4.1.1.7. Arazi Örtüsü ve Kullanımı Faktörü (X_7)

Arazi örtüsü ve kullanımı faktörü, toprak yüzeyinin bitkilerle veya diğer örtülerle ne kadar korunduğunu göstermektedir (Şekil 56). Aynı zamanda tarım, orman, mera veya yerleşim gibi arazi kullanımı ile toprak işleme yöntemlerinin etkilerini de içermektedir.



Şekil 54. Arap Tepe'nin Kuzeydoğusunda Miyosen'e Ait Andezit – Tüf Üzerinde Kireçsiz Kahverengi Orman Toprakları ve 0-11 Kapalılık Oranına Sahip Karakütük Damları. 5-10^0 (Az Eğimli Yamaç) Arasi Değişen Eğim Değerlerine Sahip Bu Arazide, Bitki Örtüsünün Seyrekliği ve Topoğrafyanın Belirginliği, Erozyon Riskini Artıran Önemli Faktörlerdendir.

Kaynak: Orijinal

Ardıçtepe Barajı Havzası'nda sulu tarım alanları, Ayaklı yerleşim biriminin kuzeyinden başlayarak Kuşdere yerleşim biriminin doğusuna kadar, akarsu yatağı boyunca uzanmakta olup, toplam 310,50 hektar (%1,21) alan kaplamaktadır. Yetersiz

sulu tarım ise havzanın orta kesiminde, Haydar yerleşim biriminin doğusunda yoğunlaşmakta ve 118,37 hektar (%0,46) alanı kapsamaktadır.

Kuru tarım faaliyetleri, nadas yönteminin uygulanıp uygulanmamasına göre farklılık göstermektedir. Nadaslı kuru tarım sadece Karataş Tepe çevresinde yürütülmekte ve 418,56 hektar (%1,63) alan kaplamaktadır. Buna karşın, nadassız kuru tarım alanları daha geniş bir yayılıma sahiptir; özellikle orta havza olmak üzere, havzanın alt kesimlerinde de yer almakta ve toplam 3.834,69 hektar (%14,90) alana ulaşmaktadır.

Irmak taşkın yatağı, 15 numaralı istasyonun güneyinden başlayarak kuzeydoğu yönüne doğru uzanmakta ve havzada 45,88 hektar (%0,18) alanı kapsamaktadır.

Havzanın en geniş alanını kaplayan arazi örtüsü ise ormanlardır. Toplamda 15.017,85 hektar (%58,35) ile tüm havza geneline yayılmış durumdadır. Fundalık alanlara ise Kına yerleşim birimi, Büyükılıca'nın doğusu ve Gebeçınar'ın güneydoğusunda rastlanmakta olup, bu örtü 636,83 hektar (%2,47) alanı kaplamaktadır.

Mera alanları, özellikle Tuzpınar Tepe, Gök Tepe, Kale Tepe, Kızılgerme Tepe ve Kazıkbatmaz Tepe çevresinde yoğunlaşmakta ve batı havzada yayılım göstermektedir. Bu alanların toplam yüzölçümü 5.007,79 hektar (%19,46) olarak hesaplanmıştır.

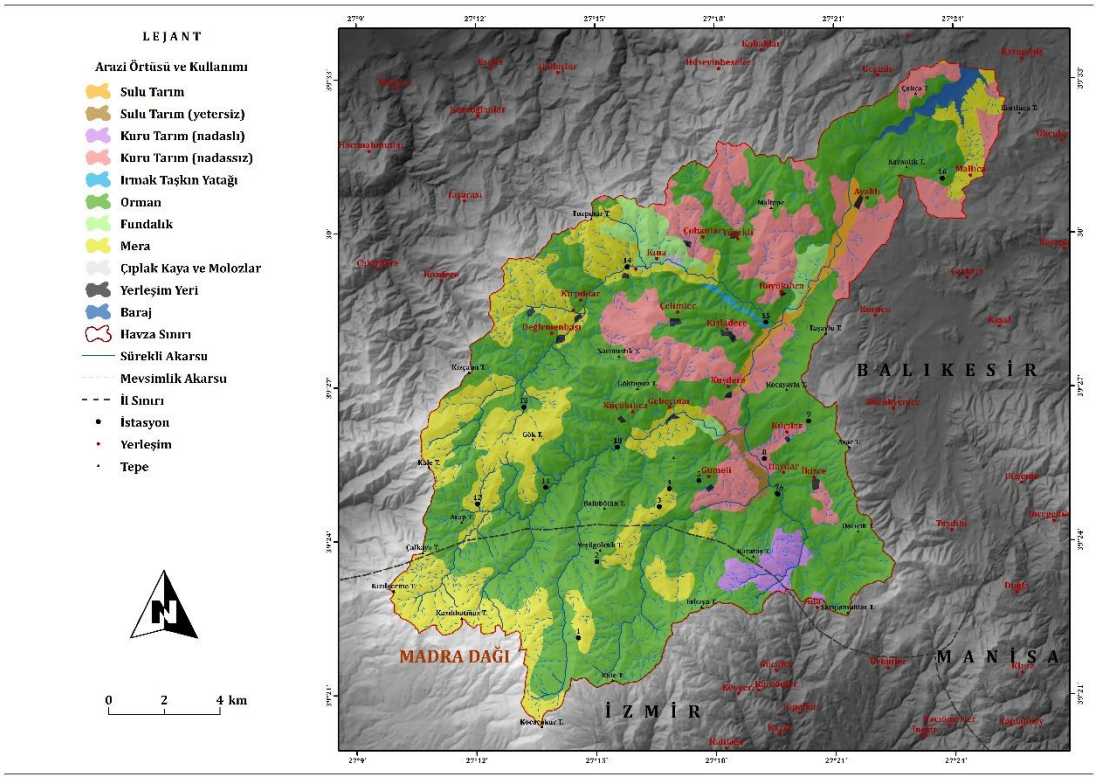
Çıplak kaya ve moloz örtüsü yalnızca Kına yerleşim biriminin doğusunda gözlemlenmekte ve 24,89 hektar (%0,10) alanı kapsamaktadır. Yerleşim alanları ise havzada toplam 103,38 hektar (%0,40) yer tutmakta; baraj ise 218,42 hektar (%0,85) alanı kaplamaktadır (Şekil 56 ve Tablo 43).



Şekil 55. Göktepe'nin Güney Yamacında, Kuzeye Bakan Vadide Yer Alan ve Permiyen–Triyas Yaşlı Metakırıntılı Kayaçlar Üzerinde Gelişmiş Kireçsiz Kahverengi Orman Topraklarını Gösteren Arazinin Genel Görünümü.

Kaynak: Orijinal

Ardıçtepe Barajı Havzası'nda arazi örtüsü ve kullanımı sınıfları için C faktör değerleri farklı literatür kaynaklarından elde edilmiştir (Renard, 1997; İrvem ve Tülücü, 2004; Kızılelma ve Karabulut, 2014; Panagos, 2014). Elde edilen bu C faktör değerleri MPSIAC "X_7= *20-(0,2*P_c)*" formülüne (PSIAC, 1968; Johnson ve Gebhardt, 1982) yerleştirilerek MPSIAC arazi örtüsü ve kullanımı faktör haritası oluşturulmuştur (Şekil 57). Formüldeki "P_c", yüzde C faktörü değeri olup, örtü yoğunluğuna bağlı olarak belirlenmektedir. Ulaşılan sonuçlara göre baraj havzasında yıllık hektar başına 19,80 ile 20 ton toprak kayıpları oluşmaktadır.



Şekil 56. Ardıçtepe Barajı Havzası Arazi Örtüsü ve Kullanımı Haritası

Kaynak: Orijinal

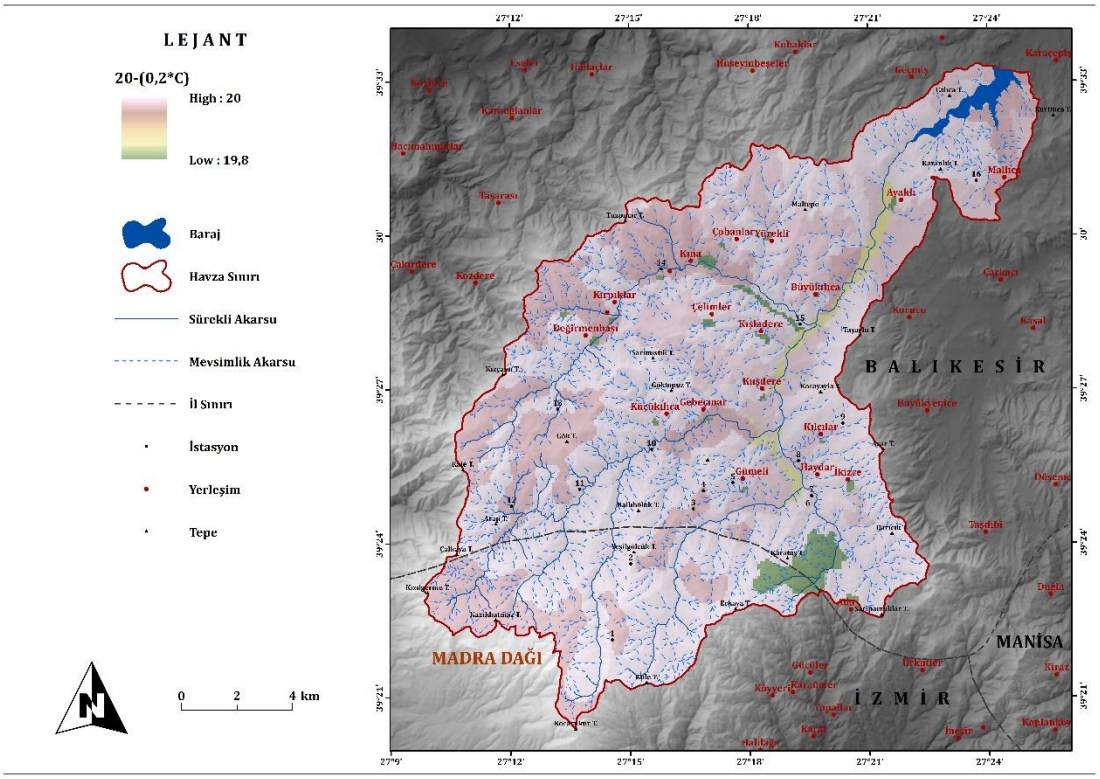
Tablo 43. Ardıçtepe Barajı Havzası Arazi Örtüsü ve Kullanımı Dağılım Oranları

Arazi Kullanımı	Sembol	Alan (ha)	Oran (%)	C Faktör
Sulu Tarım	S	310,50	1,21	0,28
Sulu Tarım (yetersiz su)	Sy	118,37	0,46	0,3
Kuru Tarım (nadaslı)	K	418,56	1,63	0,38
Kuru Tarım (nadassız)	N	3834,69	14,90	0,07
Irmak Taşkın Yatağı	IY	45,88	0,18	1
Orman	O	15017,85	58,35	0,05

Tablo 43 - devamı

Fundalık	F	636,83	2,47	0,09
Mera	M	5007,79	19,46	0,09
Çıplak Kaya ve Molozlar	CK	24,89	0,10	1
Yerleşim Yeri	YR	103,38	0,40	1
Baraj	BJ	218,42	0,85	0

Kaynak: Orijinal



Şekil 57. Ardıçtepe Barajı Havzası Mpsıac Yöntemine Göre Arazi Faktörü Haritası

Kaynak: Orijinal

MPSIAC metoduna göre oluşturulan arazi örtüsü ve kullanımı haritasında orman arazilerinin kapladığı sahalar üzerinden 20 ton/ha/y toprak kayıpları meydana geldiği görülmektedir. Bu durum, orman alanlarının eğim, alt örtü yoğunluğu gibi faktörlere bağlı olarak her zaman yeterli koruma sağlamadığını göstermektedir. Diğer arazi yüzeylerinde ise ortalama 19,98 ton/ha/y toprak kayıpları meydana gelmektedir (Şekil 57 ve 58).

4.1.1.8. Yüzey Erozyon Faktörü (X_8)

Yüzey erozyon faktörü, bir havzada erozyonun aktifliğini, arazinin aşınma süreçlerine ne derece maruz kaldığını ve yüzeyin bu süreçlere karşı sergilediği duyarlılığı doğrudan ortaya koyan kritik bir parametredir. MPSIAC yöntemi içerisinde erozyon potansiyelini tahmin etmede temel rol oynayan bu faktör, arazideki erozyon belirtilerini ve yüzeyin fiziksel direncini esas almaktadır. Ardıçtepe Barajı Havzası genelinde yüzey erozyon faktörünün belirlenmesinde, sahanın topografik yapısını ve hidrolojik süreçlerini yansıtan Bileşik Topografik İndeks (BTİ) verilerinden yararlanılmıştır. Bu kapsamda, özellikle eğimin yüksek olduğu yamaçlarda vejetasyon örtüsünden yoksun gevşek dokulu zeminlerin varlığı, suyun yüzey akış hızını artırarak toprağın taşınmasını kolaylaştırmakta ve yüzeyin erozyona karşı savunmasız kalmasına neden olmaktadır.



Şekil 58. Kayabaşı Tepe Doğusundaki Yol Yarmasında Permiyen – Triyas'a Ait Çakıltaşı, Kumtaşı, Çamurtaşı Ardalanması Üzerinde Kireçsiz Kahverengi Orman Toprakları ve Kızılçam Ormanının Görünümü. Fotoğrafta Net Biçimde Görülen Dik Şevli Yamaçta Şiddetli Yüzey Erozyonu İzleri Gözlemlenmektedir.

Kaynak: Orijinal

4.1.1.8.1. Bileşik Topografik İndeks (Compound Topography Index)

Compound Topographic Index (CTI), bir arazide yüzey suyu akışı ve toprak nemi dağılımı gibi hidrolojik süreçlerin analizinde kullanılan bir topoğrafik göstergedir. İlk olarak Beven ve Kirkby (1979) tarafından geliştirilmiş olan bu indeks,

Topographic Wetness Index (TWI) adıyla da anılır. CTI, bir bölgedeki topoğrafik özelliklerin su birikimi ve yüzey akışına etkisini değerlendirmek amacıyla kullanılan, özellikle erozyon, toprak nemi dağılımı ve suyun birikme eğilimini analiz etmekte yararlı bir coğrafi modelleme indeksidir. Erozyon riskinin yüksek olduğu alanları belirlemede kullanılır, havza modellemelerinde, tarım arazileri planlamasında ve yağış-runoff analizlerinde kullanılır, toprakta su birikimi ve yüzeysel akış davranışları hakkında bilgi verir.

Moore ve Burch (1986) ile başlayan, ardından Moore, Grayson ve Ladson (1991) tarafından geliştirilen çalışmalar, CTI'nin özellikle toprak nemi dağılımı, yüzey akışı, erozyon potansiyeli ve vejetasyon paternleri gibi hidrolojik ve çevresel değişkenlerle ilişkili olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Arazi boyunca suyun nasıl hareket ettiğini ve hangi alanlarda birikmeye daha yatkın olduğunu göstermeye yarayan formül şu şekildedir:

CTI=Ln(akış toplamı +.001)/(eğim/100)+.001

Ln: Doğal Logaritma

Eğim: Radyan cinsinden ifade edilmelidir.

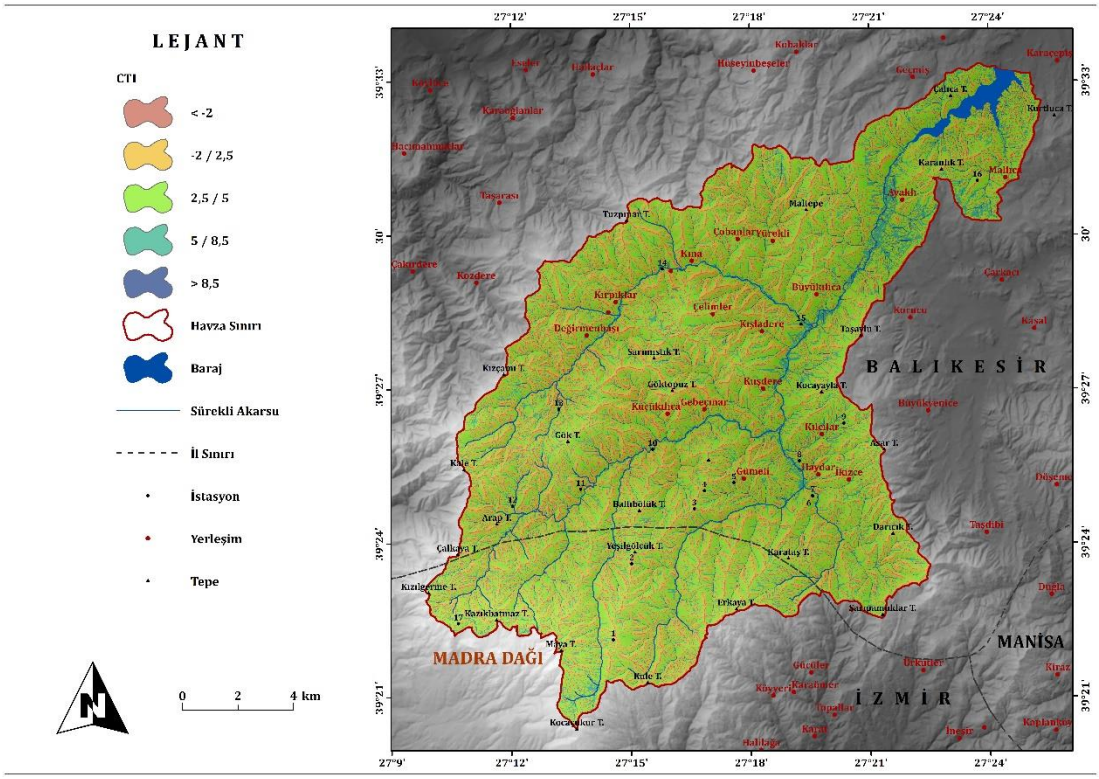
Şekil 59’da Ardıçtepe Barajı Havzası'na ait Compound Topographic Index (CTI) dağılımı gösterilmektedir. CTI, topoğrafik özelliklere bağlı olarak yüzeysel akışın birikme potansiyelini ve buna bağlı toprak nemi eğilimini ortaya koyan önemli hidrolojik göstergelerden biridir. Düşük CTI değerleri suyun hızla uzaklaştığı sırt ve üst yamaç kesimlerini, yüksek CTI değerleri ise yüzey akışının yoğunlaştığı vadi tabanları ve drenaj hatlarını temsil etmektedir.

Harita incelendiğinde (Şekil 59), havzanın büyük bölümünün 2,5–5 aralığında yer aldığı ve orta düzey CTI değerleriyle karakterize olduğu görülmektedir. Bu durum, havzanın genelinde yüzey akışının belirli bir denge içerisinde dağıldığını ve topoğrafik koşulların geniş alanlarda benzer özellik gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Buna karşılık 5–8,5 ve 8,5'in üzerindeki yüksek CTI değerleri özellikle ana akarsu ve yan kol vadileri boyunca doğrusal bir dağılım göstermektedir. Bu alanlar, topoğrafik yakınsamanın arttığı, yüzey akışının toplandığı ve toprak neminin yüksek olduğu kesimlerdir. Aynı zamanda oyuntu erozyonu, kanal gelişimi ve sediment taşınımının yoğunlaşabileceği potansiyel alanları temsil etmektedir.

Buna karşın −2'nin altındaki düşük CTI değerleri sırtlar, su bölümü çizgileri ve dik yamaçların üst kesimlerinde yoğunlaşmıştır. Bu alanlarda eğimin fazla olması nedeniyle yüzey akışı kısa sürede aşağı kotlara taşınmakta, suyun toprakta tutulma süresi azalmakta ve yüzey doygunluğu düşük kalmaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde CTI haritası, havzadaki drenaj ağı ve topoğrafik yapı ile yüksek uyum göstermektedir. Özellikle yüksek CTI değerlerinin doğal akarsu sistemi boyunca yoğunlaşması, üretilen indeksin havzadaki hidrolojik süreçleri başarılı şekilde yansıttığını göstermektedir. Bu nedenle CTI haritası, oyuntu erozyonu potansiyelinin belirlenmesinde ve MPSIAC modelindeki yüzey akışı–kanal ilişkilerinin değerlendirilmesinde güvenilir bir yardımcı katman olarak kullanılabilir.



Şekil 59. Ardıçtepe Barajı Havzası Bileşik Topografik İndeks Haritası

Kaynak: Orijinal

4.1.1.8.2. MPSIAC Yüzey Erozyon Faktörünün Hesaplanması

Yüzey erozyon faktörü, bir arazideki yüzeyin erozyona karşı duyarlılığını ve mevcut erozyon belirtilerini esas alır. Bu faktör, erozyonun aktifliğini ve arazinin

erozyon sürecine ne kadar maruz kaldığını doğrudan gösterdiği için, toplam erozyon potansiyelini tahmin etmede kritik rol oynar.

Yüzey erozyonu faktörünün hesaplanmasında Bileşik Topografik İndeks (BTİ) verilerinden yararlanılmıştır (Şekil 60). Baraj havzasına ait oluşturulan BTİ haritası, MPSIAC (PSIAC, 1968; Johnson ve Gebhardt, 1982) yöntemi kapsamında yüzey erozyonu faktörünün belirlenmesinde kullanılmış ve $X_8 = 0{,}25 \times SSF$ katsayısı esas alınarak hesaplama gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda kullanılan MPSIAC Yüzey Erozyonu Faktörü formülü aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir:

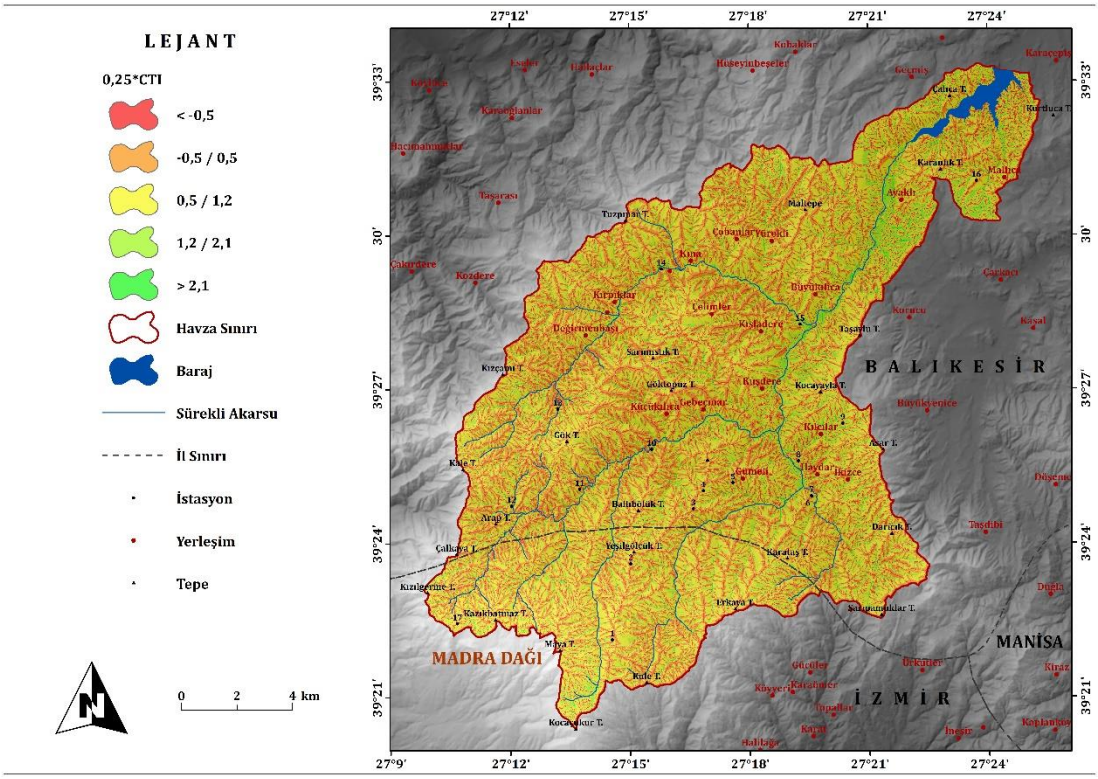
X_8= *0,25*[Ln(akış toplamı+.001)/(eğim/100)+.001]*

Ardıçtepe Barajı Havzası'na ait yüzey erozyonu haritası (Şekil 60) incelendiğinde, havza genelinde düşük ve orta düzey yüzey erozyonu potansiyelinin baskın olduğu görülmektedir. Buna karşılık yüksek ve çok yüksek yüzey erozyonu değerleri özellikle eğimin arttığı yamaç kesimlerinde, sırt hatlarında ve drenaj ağının yoğunlaştığı alanlarda kümelenmektedir. Bu durum, yüzey akışının topoğrafik kontrol altında geliştiğini ve eğim koşullarının yüzey erozyonu süreçleri üzerinde belirleyici rol oynadığını göstermektedir. Havzanın kuzeydoğu kesimlerinde ve ana akarsu sistemine bağlanan yan drenaj hatları boyunca yüzey erozyonu potansiyelinin arttığı gözlenmektedir. Elde edilen sonuçlar, yüzey erozyonunun havza genelinde yaygın olmakla birlikte özellikle eğimli yamaçlarda ve akış yoğunlaşmasının gerçekleştiği alanlarda daha etkin olduğunu ortaya koymaktadır (Şekil 61).

4.1.1.9. Oyuntu Erozyon (X_9) Faktörü

Oyuntu erozyonu, yüzey ve parmak erozyonunun ilerlemiş bir aşaması olup, havza yüzeyinde derin ve geniş kanalların oluşmasıyla karakterize edilen en şiddetli aşınma süreçlerinden biridir. MPSIAC yönteminde Oyuntu Erozyon Faktörü (X_9), havzadaki drenaj ağının gelişim düzeyini, oyuntuların sıklığını ve bu kanalların aktiflik durumunu değerlendirerek toplam sediman verimine olan katkıyı belirlemektedir. Ardıçtepe Baraj Havzası gibi rölyef enerjisinin yüksek olduğu sahalarda, bitki örtüsünden yoksun yamaçlar boyunca konsantre olan yüzey akışları, gevşek dokulu ana materyal üzerinde hızla derinleşerek drenaj sistemine entegre olan oyuntuları meydana getirmektedir. Bu süreç, sadece verimli üst toprağın kaybına yol açmakla kalmayıp, aynı zamanda taşınan malzemenin doğrudan akarsu yataklarına ve

nihayetinde baraj rezervuarına ulaşmasına neden olan bir 'sediman nakil kanalı' vazifesi görmektedir.



Şekil 60. Ardıçtepe Barajı Havzası Yüzey Erozyon Faktör Haritası

Kaynak: Orijinal

4.1.1.9.1. Akış Gücü İndeksi (Stream Power Index)

Akış Gücü İndeksi (Stream Power Index, SPI), bir arazideki su akışının erozyon potansiyelini veya "akış gücünü" tahmin etmek için kullanılan bir coğrafi bilgi sistemi (CBS) parametresidir. Hidrolojik ve jeomorfolojik analizlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle yağışla gelen yüzey akışının topoğrafya ile nasıl etkileşime girdiğini değerlendirmeye yarar (Şekil 62).

Yüksek SPI değerleri: Büyük miktarda akış alanı ve/veya dik eğim → daha yüksek erozyon potansiyeli. Düşük SPI değerleri: Daha düz araziler veya küçük akış alanları → düşük akış gücü şeklinde yorumlanmaktadır.

SPI, akarsuların akış toplamlarının eğimin yüzdesi ile çarpılarak logaritması alınması sonucunda hesaplanmaktadır. SPI, bir noktanın akış gücünü hesaplarken kullanılan formül şu şekildedir (Galzki vd., 2015):



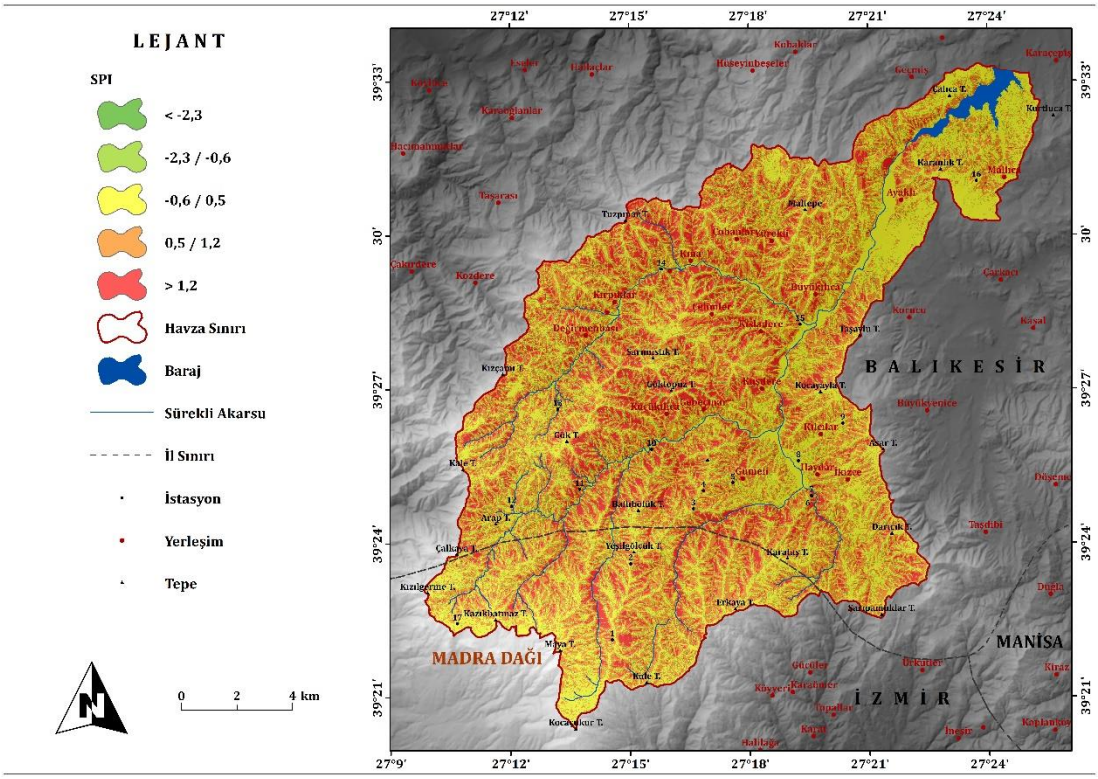
Şekil 61. Göktepe Güneyindeki Permiyen – Triyas'a Ait Metakırıntılı Kaya Üzerinde Kireçsiz Kahverengi Orman Toprakları ve Yüzey Erozyonu (Schmidt Çekici Ölçek Olarak Kullanılmıştır).

Kaynak: Orijinal

SPI= Ln(akış toplamı+.001)((eğim /100)+.001)*

EVAAL (Erosion Vulnerability Assessment for Agricultural Lands) aracında, 2014 sürümünde "Stream Power Index (SPI)" şu şekilde tanımlanmıştır: SPI = oyuntu (gully) erozyon riskini değerlendirmek için kullanılan bir parametredir. SPI, hem drenaj alanı (flow-accumulation) hem de arazi eğiminin bir fonksiyonu olarak hesaplanır. Yüksek SPI değeri, su birikimi ile dik eğimin çakıştığı noktalarda oyuntu erozyonunun (gully oluşumunun) potansiyelinin daha yüksek olduğunu gösterir. Bu indis sayesinde, bağlantılı yüzey akış yolları belirlenir ve özellikle erozyon modellemesinde kritik önemdedir. Akış Gücü İndeksi (Stream Power Index, SPI), bir akarsuyun yüzey şekillerini aşındırma potansiyelinin bir göstergesi olarak değerlendirilmektedir. Bu indeks, bir akarsu havzasındaki toplam akışın, ilgili akarsuyun eğim yüzdesiyle çarpılmasıyla hesaplanmakta ve bu şekilde oyuntu (gully) erozyonu potansiyeli belirlenmektedir. Oyuntu erozyonu, yüzey erozyonunun en şiddetli formu olarak kabul edilmekte olup, özellikle dik eğimli alanlarda daha yoğun şekilde görülmektedir. Eğimin artması, akarsuların taşıdığı kinetik enerjiyi ve

dolayısıyla aşındırma gücünü artırmakta; bu da üst toprak katmanında daha fazla madde kaybına yol açmaktadır. Oyuntu erozyonunun etkili olduğu alanlarda oluşan 'dişli' yapılar, topografyada belirgin şekilde izlenebilir olup, yüksek eğimli bölgelerde dikkat çekecek ölçüde temiz bir görünüm sergilemektedir. Bu durum, söz konusu alanlarda toprak ve bitki besin maddesi kayıplarının oldukça yüksek olduğunu göstermektedir.



Şekil 62. Ardıçtepe Barajı Havzası Akış Gücü İndeks Haritası

Kaynak: Orijinal

Ardıçtepe Barajı Havzası'na ait SPI haritası (Şekil 62) incelendiğinde, düşük ve orta düzey SPI değerlerinin havzanın geniş bir bölümünde yayılış gösterdiği, buna karşılık yüksek ve çok yüksek SPI değerlerinin özellikle drenaj ağları boyunca yoğunlaştığı görülmektedir. SPI değerlerindeki artış, yüzey akışının belirli hatlar boyunca yoğunlaştığını ve akarsuların aşındırma gücünün yükseldiğini göstermektedir. Bu nedenle yüksek SPI değerleri, yüzeysel akışın konsantre olduğu ve oyuntu erozyonu ile kanal aşındırmasının gelişme potansiyelinin arttığı alanları temsil etmektedir.

Özellikle ana akarsuya bağlanan yan kolların birleşme noktalarında ve eğimin arttığı yamaç kesimlerinde SPI değerlerinin yükseldiği dikkat çekmektedir. Buna

karşın sırt hatları ve su bölümü çizgeleri boyunca daha düşük SPI değerleri gözlenmektedir. Bu durum, havza içerisinde akış enerjisinin topoğrafik yapı tarafından yönlendirildiğini ve sediment taşınımının belirli drenaj koridorlarında yoğunlaştığını ortaya koymaktadır.

SPI haritasında belirlenen yüksek değerli koridorlar, oyuntu erozyonu haritasında ortaya çıkan aşınım alanlarıyla büyük ölçüde çakışmaktadır. Bu durum, akış gücünün arttığı kesimlerde kanal gelişiminin ve sediment taşınımının daha etkin gerçekleştiğini göstermekte olup, SPI'nin havzadaki potansiyel erozyon odaklarının belirlenmesinde önemli bir gösterge olduğunu ortaya koymaktadır.

4.1.1.9.2. MPSIAC Oyuntu Erozyon Faktörünün Hesaplanması

Oyuntu faktörü, bir havzadaki ana ve tali su yollarının (akarsu yataklarının) erozyon potansiyelini ve sediment taşıma kapasitesini belirlemek için kullanılır. Bu faktör, özellikle akarsuların taban ve yan yüzeylerinde meydana gelen aşınma (yani kanal içi erozyon) ile ilgilidir. Oyuntu faktörü yükseldikçe, sediment taşınımı artmakta ve erozyon daha etkili olmaktadır (Şekil 63). Özellikle akarsuların yatak erozyonu önemli bir sediment kaynağı olmaktadır. Yüksek oyuntu erozyonu, delta, baraj veya rezervuar gibi yapılarda tortu birikimini artırmaktadır.

Akış Gücü İndeksi (Stream Power Index – SPI) hesaplamalarından elde edilen veriler, MPSIAC yöntemindeki oyuntu erozyonu faktörünün belirlenmesinde $1{,}67 \times SSF_S$ sabit katsayısı ile çarpılarak ilgili parametre oluşturulmuştur (Şekil 64). Akış Gücü İndeksi, akarsuyun kinetik enerjisini temsil etmekte olup, eğim ile etki göstererek toprak partiküllerinin yerinden koparılması ve taşınması üzerinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda, SPI değeri kanal içi erozyon potansiyelinin belirlenmesinde temel bir gösterge olarak değerlendirilmiştir.

MPSIAC Oyuntu Erozyonu Faktörü formülü (PSIAC, 1968; Johnson ve Gebhardt, 1982):

$X_9 = 1{,}67 * [Ln(akış\ toplamı + .001) * (eğim/100) + .001)]$

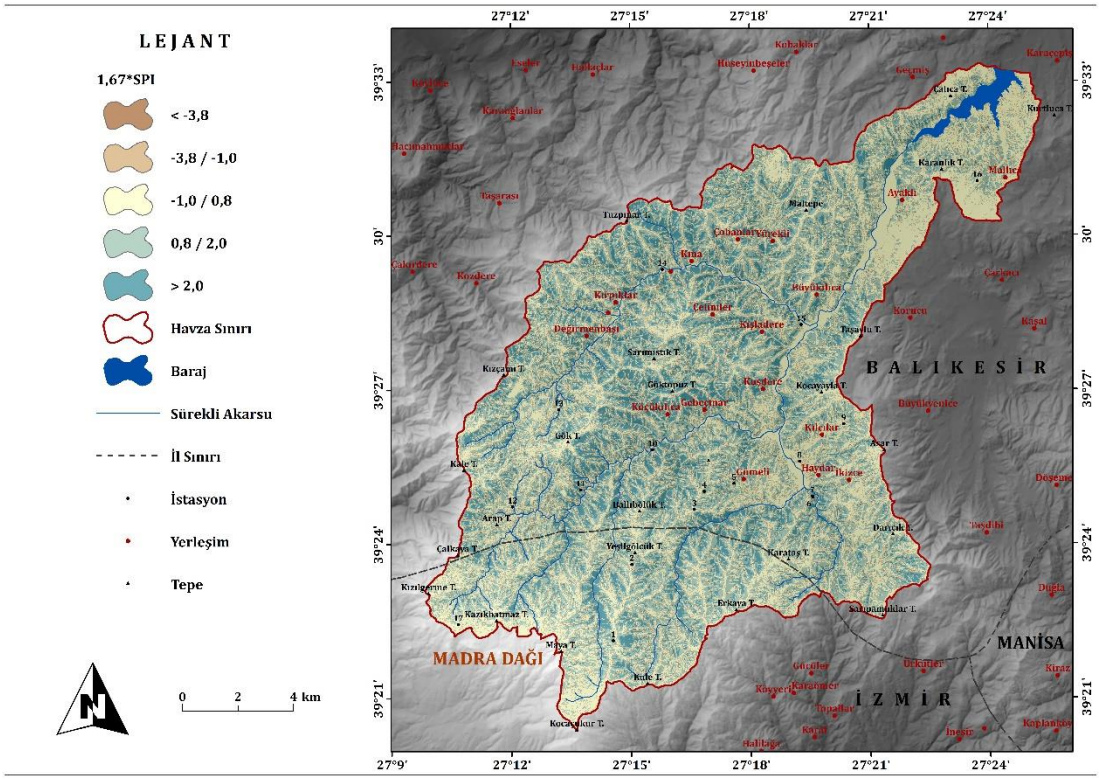


Şekil 63. Gümeli Yerleşim Birimi'ne 1,6 Km Mesafesinde Permiyen – Triyas'a Ait Çakıltaşı – Kumtaşı – Çamurtaşı Ardalanması Üzerinde Kireçsiz Kahverengi Orman Toprakları (Jeolog Çekici Ölçek Olarak Kullanılmıştır).

Kaynak: Orijinal

Oyuntu erozyonu haritası (Şekil 64) incelendiğinde, havza genelinde düşük ve orta düzey oyuntu erozyonu potansiyelinin baskın olduğu görülmektedir. Buna karşılık yüksek ve çok yüksek oyuntu erozyonu değerleri özellikle ana akarsu ve yan kollar boyunca yoğunlaşmaktadır. Bu alanlar yüzey akışının belirli drenaj hatlarında toplandığı ve akış enerjisinin arttığı kesimleri temsil etmektedir.

Oyuntu erozyonu potansiyelinin yüksek olduğu bölgeler özellikle eğimli yamaçlar, vadi yamaçları ve drenaj ağının sıklaştığı kesimlerde belirginleşmektedir. Bu durum havzada oyuntu gelişiminin topoğrafik yapı ve yüzey akışının toplanması tarafından kontrol edildiğini göstermektedir. Elde edilen sonuçlar, sediment üretiminin ve taşınımının belirli drenaj hatlarında yoğunlaştığını ve bu alanların öncelikli koruma ve rehabilitasyon bölgeleri olarak değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 64. Ardıçtepe Barajı Havzası Oyuntu Erozyon Faktör Haritası

Kaynak: Orijinal

4.1.2. RUSLE Tehlike Analizi

RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) modeli, havza ölçeğinde yıllık ortalama toprak kaybının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan ampirik bir erozyon modelidir. Model; yağışın aşındırıcı etkisini, toprağın erozyona duyarlılığını, topoğrafik özellikleri, arazi örtüsünü ve koruma uygulamalarını dikkate alarak potansiyel toprak kaybını hesaplamaktadır. Bu çalışma kapsamında Ardıçtepe Barajı Havzası'nın erozyon tehlikesinin alansal dağılımını ortaya koymak amacıyla RUSLE modeli uygulanmıştır.

RUSLE modeli sonucunda elde edilen değerler, havza içerisinde meydana gelen yıllık potansiyel toprak kaybını ifade etmektedir. Ancak erozyonla koparılan malzemenin tamamı havza çıkışına veya rezervuar alanına ulaşmamaktadır. Sedimentin bir bölümü yamaçlarda, dere yataklarında veya havza içerisindeki diğer depolanma alanlarında birikmektedir. Bu nedenle RUSLE sonuçları, Sediment İletim Oranı (SİO) yaklaşımı ile birlikte değerlendirilerek havzada üretilen sedimentin ne kadarının drenaj ağı aracılığıyla havza çıkışına taşınabileceği hesaplanmıştır. Böylece

hem toplam toprak kaybı hem de potansiyel sediment verimi belirlenerek havzanın erozyon ve sedimentasyon açısından daha kapsamlı bir değerlendirmesi yapılmıştır.

Bu kapsamda RUSLE modelinin temel bileşenleri olan yağış aşındırıcılık faktörü (R), toprak aşınabilirlik faktörü (K), topoğrafik faktör (LS), arazi örtüsü ve yönetim faktörü (C) ile destek uygulamaları faktörü (P) ayrı ayrı hesaplanmış ve CBS ortamında birleştirilerek yıllık toprak kaybı haritası oluşturulmuştur.

4.1.2.1. Yağış Faktörü (R)

Yağış aşındırıcılık faktörü (R), yağışın toprağı aşındırma ve yüzey akışını oluşturma potansiyelini ifade eden temel RUSLE parametrelerinden biridir. Bu faktör, yağışın miktarı, şiddeti ve enerjisi ile doğrudan ilişkilidir. Yüksek yağış enerjisine sahip alanlarda yağmur damlalarının toprağa çarpma etkisi artmakta, yüzey akışı hızlanmakta ve buna bağlı olarak erozyon riski yükselmektedir. Bu nedenle R faktörü, havza genelindeki potansiyel erozyon tehlikesinin belirlenmesinde önemli bir gösterge olarak kabul edilmektedir.

Bu çalışma kapsamında Ardıçtepe Barajı Havzası'nın yağış aşındırıcılık özelliklerinin belirlenmesi amacıyla meteoroloji istasyonlarından temin edilen (Tablo 44) yağış verileri kullanılmıştır. Noktasal yağış verileri yükselti etkisi dikkate alınarak havza geneline dağıtılmış ve sürekli yüzey yağış haritası elde edilmiştir (Şekil 65). Daha sonra elde edilen yağış değerleri kullanılarak R faktörü hesaplanmış (Tablo 47) ve havzanın yağış kaynaklı erozyon potansiyelini gösteren raster veri katmanı oluşturulmuştur (Şekil 66). Böylece yağışın erozyon üzerindeki alansal etkileri ortaya konularak RUSLE modelinin temel girdilerinden biri hazırlanmıştır.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (2022) temin edilen İvrindi ilçesine ait uzun yıllık aylık yağış verileri, Schreiber formülü kullanılarak havza geneline dağıtılmıştır (Şekil 65). Elde edilen yağış değerlerinden hareketle, yağış aşındırıcılık faktörünün (R) belirlenmesinde Düzeltilmiş Fournier İndeksi (Modified Fournier Index-MFI) kullanılmıştır. MFI değerleri Ferro (1991) tarafından önerilen eşitlik yardımıyla R faktörüne dönüştürülmüştür (Tablo 45, 46 ve 47):

$$MFI = \sum_{\text{İ}=1}^{12} \frac{Pi^2}{Pi}$$

Pi = Aylık ortalama yağış verisi (mm)

P = Yıllık ortalama yağış

Burada yağışın erozitif faktörü ise = (4.17 MFI) – 152 eşitliğinden ortaya konulmaktadır.

Tablo 44. İvrindi Meteoroloji İstasyonu – Aylık Ortalama Yağış Verileri (Yükselti: 240 m) (2014 – 2022)

Aylar	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Yıllık
İvrindi	114.57	66.76	63.82	45.74	52.37	43.64	14.56	21.56	12.00	38.49	57.36	76.08	606.93

Kaynak: Orijinal

Tablo 45. Aylık Ortalama Yağış Değerlerinin Karelerinin Alınması (İlk 7 Ay)

Yükselti	**Veriler**	**O**	**Ş**	**M**	**N**	**M**	**H**	**T**
300 m	mm	117,81	70	67,06	48,98	55,61	46,88	17,8
300 m	mm^2	13879,1961	4900	4497,0436	2399,0404	3092,4721	2197,7344	316,84
400 m	mm	123,45	75,64	71,7	53,66	60,29	51,56	22,48
400 m	mm^2	15239,9025	5721,4096	5140,89	2879,3956	3634,8841	2658,4336	505,3504
500 m	mm	128,85	81,04	77,1	59,06	65,69	56,96	27,88
500 m	mm^2	16602,3225	6567,4816	5944,41	3488,0836	4315,1761	3244,4416	777,2944
600 m	mm	134,25	86,44	82,5	64,46	71,09	62,36	33,28
600 m	mm^2	18023,0625	7471,8736	6806,25	4155,0916	5053,7881	3888,7696	1107,5584
700 m	mm	139,65	91,84	87,9	69,86	76,49	67,76	38,68
700 m	mm^2	19502,1225	8434,5856	7726,41	4880,4196	5850,7201	4591,4176	1496,1424

Tablo 45 - devamı

800 m	mm	145,05	97,24	93,3	75,26	81,89	73,16	44,08
800 m	mm^2	21039,5025	9455,6176	8704,89	5664,0676	6705,9721	5352,3856	1943,0464
900 m	mm	150,45	102,64	98,7	80,66	87,29	78,56	49,48
900 m	mm^2	22635,2025	10534,9696	9741,69	6506,0356	7619,5441	6171,6736	2448,2704
1000 m	mm	155,85	108,04	104,1	86,06	92,69	83,96	54,88
1000 m	mm^2	24289,2225	11672,6416	10836,81	7406,3236	8591,4361	7049,2816	3011,8144
1100 m	mm	161,25	113,44	109,5	91,46	98,09	89,36	60,28
1100 m	mm^2	26001,5625	12868,6336	11990,25	8364,9316	9621,6481	7985,2096	3633,6784
1200 m	mm	166,65	118,84	114,9	96,86	103,49	94,76	65,68
1200 m	mm^2	27772,2225	14122,9456	13202,01	9381,8596	10710,1801	8979,4576	4313,8624
1300 m	mm	172,05	124,24	120,3	102,26	108,89	100,16	71,08
1300 m	mm^2	29601,2025	15435,5776	14472,09	10457,1076	11857,0321	10032,0256	5052,3664
1340 m	mm	174,21	126,4	122,46	104,42	111,05	102,32	73,24
1340 m	mm^2	30349,1241	15976,96	14996,4516	10903,5364	12332,1025	10469,3824	5364,0976

Kaynak: Orijinal

Schreiber yöntemi kullanılarak oluşturulan yıllık toplam yağış haritasına göre (Şekil 65) Ardıçtepe Barajı Havzası'nda yağış miktarları 645,83 mm ile 1311,11 mm arasında değişmektedir. Havza genelinde ortalama yıllık yağış miktarı ise 897,81 mm olarak hesaplanmıştır. Yağışın mekânsal dağılımı incelendiğinde, en yüksek yağış değerlerinin havzanın güney ve güneybatısında yer alan Madra Dağı'nın yüksek kesimlerinde yoğunlaştığı, buna karşılık daha düşük yağış değerlerinin havzanın kuzey ve kuzeydoğu kesimlerinde görüldüğü belirlenmiştir. Bu durum, yükseltinin artmasına

bağlı olarak yağış miktarının da arttığını ve orografik etkinin havza içerisindeki yağış dağılımını belirleyen önemli faktörlerden biri olduğunu göstermektedir.

Tablo 46. Aylık Ortalama Yağış Değerlerinin Karelerinin Alınması (Son 5 Ay ve Genel Toplamlar)

Yükselti	Veriler	A	E	E	K	A	Toplam
300 m	mm	24,8	15,24	41,73	60,6	79,32	645,83
300 m	mm^2	615,04	232,2576	1741,3929	3672,36	6291,6624	43835,0395
400 m	mm	29,48	19,92	47,41	63,84	82,56	701,99
400 m	mm^2	869,0704	396,8064	2247,7081	4075,5456	6816,1536	50185,5499
500 m	mm	34,88	25,32	52,81	69,24	87,96	766,79
500 m	mm^2	1216,6144	641,1024	2788,8961	4794,1776	7736,9616	58116,9619
600 m	mm	40,28	30,72	58,21	74,64	93,36	831,59
600 m	mm^2	1622,4784	943,7184	3388,4041	5571,1296	8716,0896	66748,2139
700 m	mm	45,68	36,12	63,61	80,08	98,76	896,43
700 m	mm^2	2086,6624	1304,6544	4046,2321	6412,8064	9753,5376	76085,7107
800 m	mm	51,08	41,52	69,01	85,44	104,16	961,19
800 m	mm^2	2609,1664	1723,9104	4762,3801	7299,9936	10849,3056	86110,2379
900 m	mm	56,48	46,92	74,41	90,84	109,56	1025,99
900 m	mm^2	3189,9904	2201,4864	5536,8481	8251,9056	12003,3936	96841,0099
1000 m	mm	61,88	52,32	79,81	96,24	114,96	1090,79
1000 m	mm^2	3829,1344	2737,3824	6369,6361	9262,1376	13215,8016	108271,6219

Tablo 46 - devamı

1100 m	mm	67,28	57,72	85,21	101,64	120,36	1155,59
1100 m	mm^2	4526,5984	3331,5984	7260,7441	10330,6896	14486,5296	120402,0739
1200 m	mm	72,68	63,12	90,61	107,04	125,76	1220,39
1200 m	mm^2	5282,3824	3984,1344	8210,1721	11457,5616	15815,5776	133232,3659
1300 m	mm	78,08	68,52	96,01	112,44	131,16	1285,19
1300 m	mm^2	6096,4864	4694,9904	9217,9201	12642,7536	17202,9456	146762,4979
1340 m	mm	80,24	70,68	98,17	114,6	133,32	1311,11
1340 m	mm^2	6438,4576	4995,6624	9637,3489	13133,16	17774,2224	152370,5059

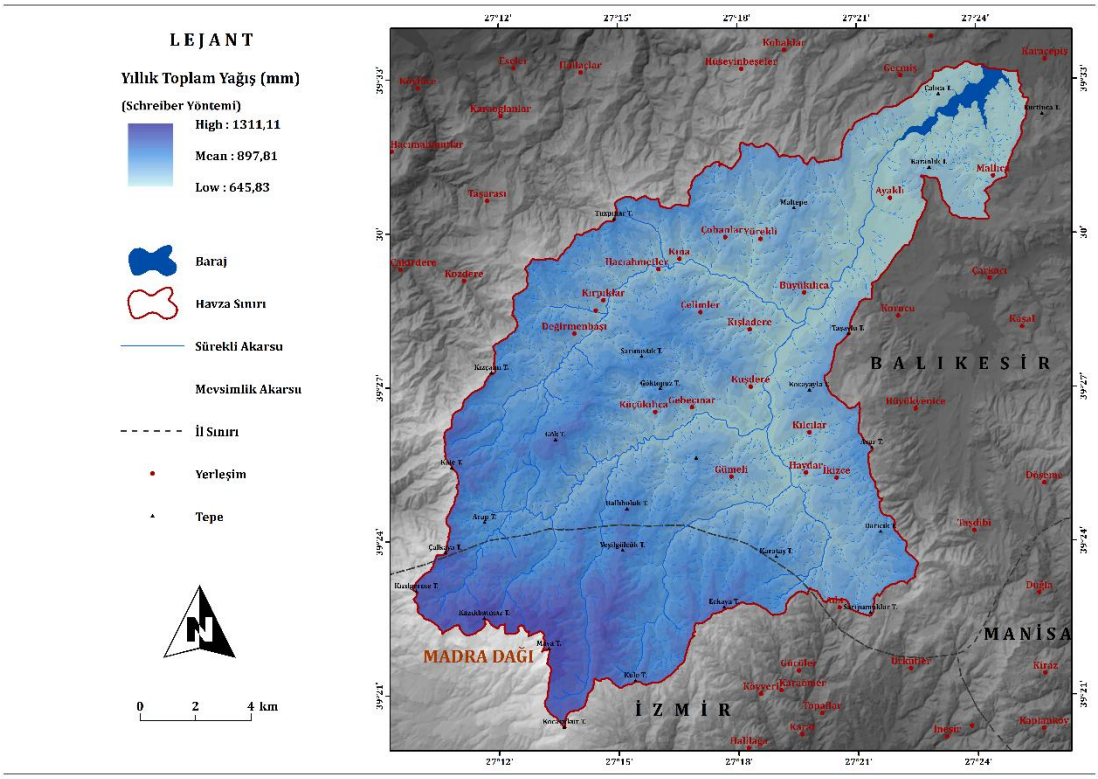
Kaynak: Orijinal

Tablo 47. Yükselti Basamaklarına Göre Hesaplanan R Faktörü Değerleri

Yükselti (m)	R Faktör (MJ/ha/yıl)
300	131,0
400	146,1
500	164,1
600	182,7
700	201,9
800	221,6
900	241,6
1000	261,9
1100	282,5
1200	303,2
1300	324,2
1340	332,6

Kaynak: Orijinal

Yağış, erozyon süreçlerini kontrol eden temel etmenlerden biri olup yüzey akışının oluşumu ve sediment taşınımı üzerinde doğrudan etkiye sahiptir. Bu nedenle yağış miktarının arttığı alanlarda erozyon potansiyelinin de yükselmesi beklenmektedir. Özellikle havzanın güney kesimlerinde yer alan yüksek eğimli alanlarda yağışın daha fazla olması, yüzey akışının artmasına ve buna bağlı olarak toprak kaybının hızlanmasına neden olabilmektedir. Bununla birlikte havza içerisinde belirlenen maksimum ve minimum yağış değerleri arasındaki farkın yaklaşık 56 mm olması, yağışın tek başına erozyonun alansal dağılımını açıklamak için yeterli olmadığını göstermektedir. Erozyonun oluşumu ve şiddeti üzerinde topoğrafya, toprak özellikleri, arazi örtüsü ve arazi kullanımı gibi diğer çevresel faktörlerin de önemli rol oynadığı değerlendirilmektedir.



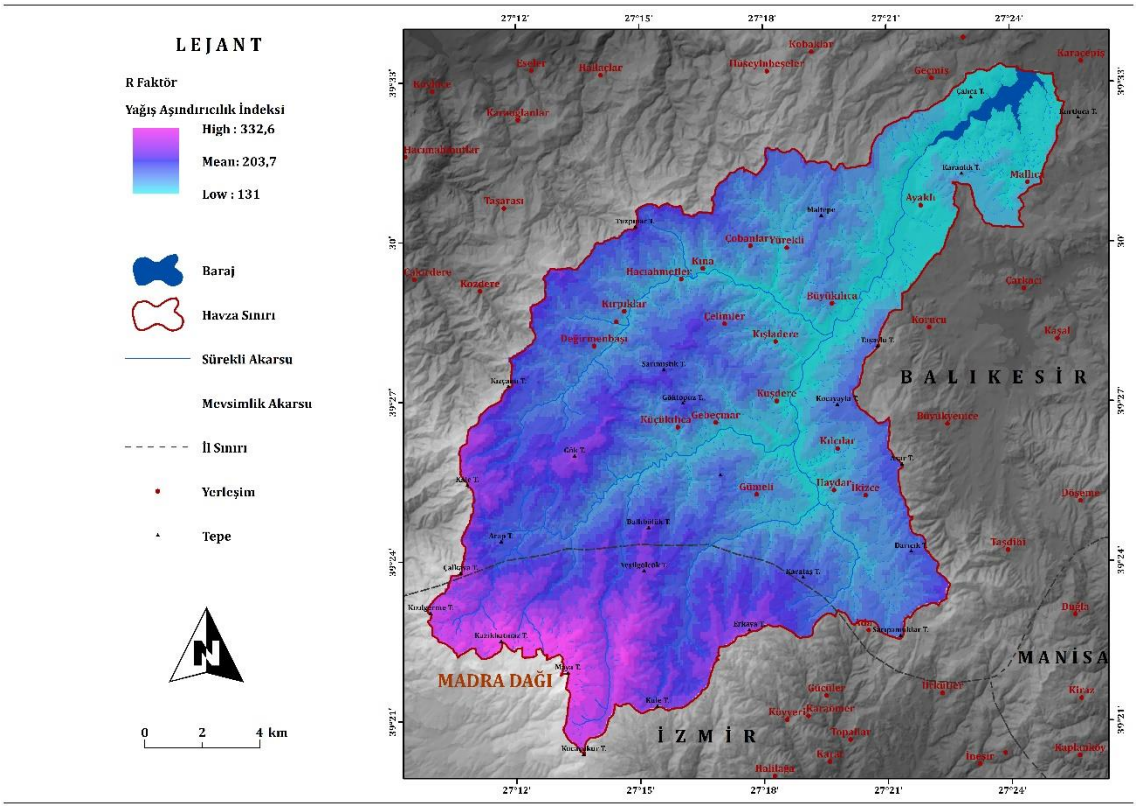
Şekil 65. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın Yağış Haritası

Kaynak: Orijinal

Ardıçtepe Barajı Havzası için oluşturulan R faktörü haritasına göre (Şekil 66) yağış aşındırıcılık değerleri 131 ile 332,6 arasında değişmekte olup havza ortalaması 203,7 olarak hesaplanmıştır. R faktörünün alansal dağılımı incelendiğinde, en yüksek değerlerin havzanın güney ve güneybatısında yer alan Madra Dağı'nın yüksek

kesimlerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Buna karşılık daha düşük R faktörü değerleri havzanın kuzey ve kuzeydoğu kesimlerinde belirlenmiştir. Bu dağılım, yükseltiye bağlı olarak artan yağış miktarının yağış aşındırıcılık değerlerini de yükselttiğini göstermektedir.

R faktörü, yağışın toprağı parçalama ve yüzey akışını oluşturma gücünü temsil eden temel erozyon parametrelerinden biridir. Bu nedenle yüksek R faktörü değerlerinin görüldüğü alanlarda yağış kaynaklı erozyon riskinin de artması beklenmektedir. Özellikle Madra Dağı çevresindeki yüksek ve eğimli alanlarda belirlenen yüksek aşındırıcılık değerleri, bu kesimlerin potansiyel erozyon açısından daha hassas olduğunu ortaya koymaktadır. Buna karşın havzanın kuzey ve kuzeydoğu kesimlerinde daha düşük R faktörü değerlerinin görülmesi, yağışın aşındırıcı etkisinin görece daha sınırlı olduğunu göstermektedir.



Şekil 66. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın R Faktör Haritası

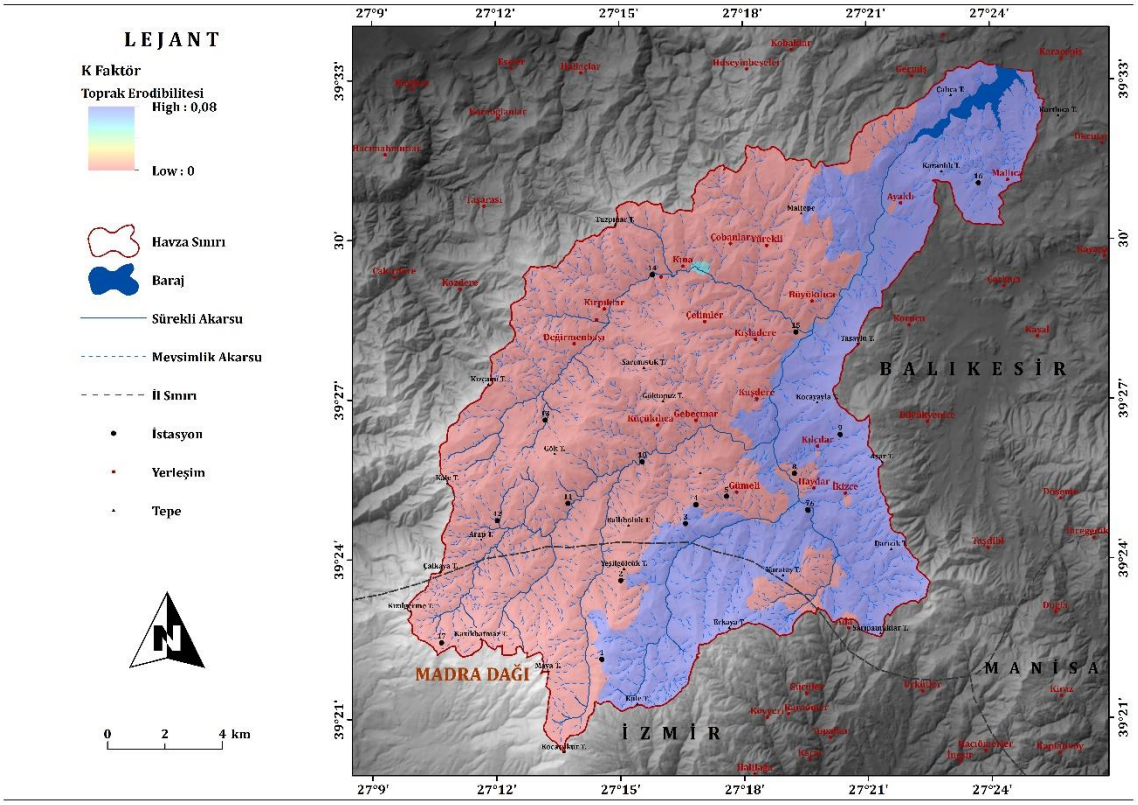
Kaynak: Orijinal

Bununla birlikte erozyon yalnızca yağış aşındırıcılığına bağlı olarak gelişmemektedir. Toprak özellikleri, eğim koşulları, arazi örtüsü ve arazi kullanımı gibi faktörler de erozyonun mekânsal dağılımında önemli rol oynamaktadır. Bu nedenle R faktörü haritası, havzadaki potansiyel erozyon riskinin belirlenmesinde

önemli bir gösterge olmakla birlikte, nihai erozyon tehlikesinin değerlendirilmesinde diğer RUSLE faktörleri ile birlikte ele alınmalıdır.

4.1.2.2. Toprak Faktörü (K)

Toprak erodibilite faktörü (K), toprağın yağış ve yüzey akışı etkisiyle aşınmaya karşı gösterdiği duyarlılığı ifade etmektedir. RUSLE modelinin temel bileşenlerinden biri olan bu faktör, toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Toprak tekstürü, organik madde miktarı, strüktür özellikleri ve geçirgenlik durumu erodibilite üzerinde etkili olan başlıca parametrelerdir. İnce tekstürlü ve organik madde bakımından zayıf topraklar genellikle erozyona karşı daha hassas olurken, iyi gelişmiş yapıya sahip ve organik madde içeriği yüksek topraklar daha düşük erodibilite değerleri göstermektedir.



Şekil 67. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın K Faktör Haritası

Kaynak: Orijinal

Ardıçtepe Barajı Havzası için oluşturulan K faktörü haritasına (Şekil 67) göre toprak erodibilitesi değerleri 0 ile 0,08 arasında değişmektedir. Havzanın büyük bölümünde benzer K değerlerinin hâkim olduğu görülmektedir. Bu durum, havza

genelinde benzer toprak özelliklerinin yaygın olduğunu göstermektedir. K faktörünün yüksek olduğu alanlar özellikle havzanın doğu ve kuzeydoğu kesimlerinde yoğunlaşırken, düşük değerler havzanın orta ve batı kesimlerinde görülmektedir. K faktörü yüksek olan alanlarda toprakların yağış ve yüzey akışı etkisiyle taşınmaya karşı daha hassas olduğu, dolayısıyla erozyon riskinin diğer alanlara göre daha yüksek olduğu değerlendirilmektedir.

4.1.2.3. Arazi Kullanım Faktörü (C)

Arazi kullanım faktörü (C), bitki örtüsü ve arazi kullanım özelliklerinin erozyon üzerindeki etkisini ifade eden RUSLE modelinin temel parametrelerinden biridir. Bu faktör, belirli bir arazi örtüsü altında meydana gelen toprak kaybının çıplak ve işlenmiş bir yüzeyde oluşabilecek toprak kaybına oranını göstermektedir. C faktörü değerleri 0 ile 1 arasında değişmekte olup, değerin sıfıra yaklaşması bitki örtüsünün toprağı erozyona karşı daha etkin koruduğunu, 1'e yaklaşması ise koruyucu etkinin azaldığını göstermektedir. Bu çalışma kapsamında C faktörü, havzadaki arazi kullanım ve arazi örtüsü özellikleri dikkate alınarak oluşturulmuştur. Arazi kullanım sınıflarına literatürde önerilen C faktörü değerleri atanmış ve elde edilen veriler CBS ortamında raster formata dönüştürülerek C faktörü haritası üretilmiştir.

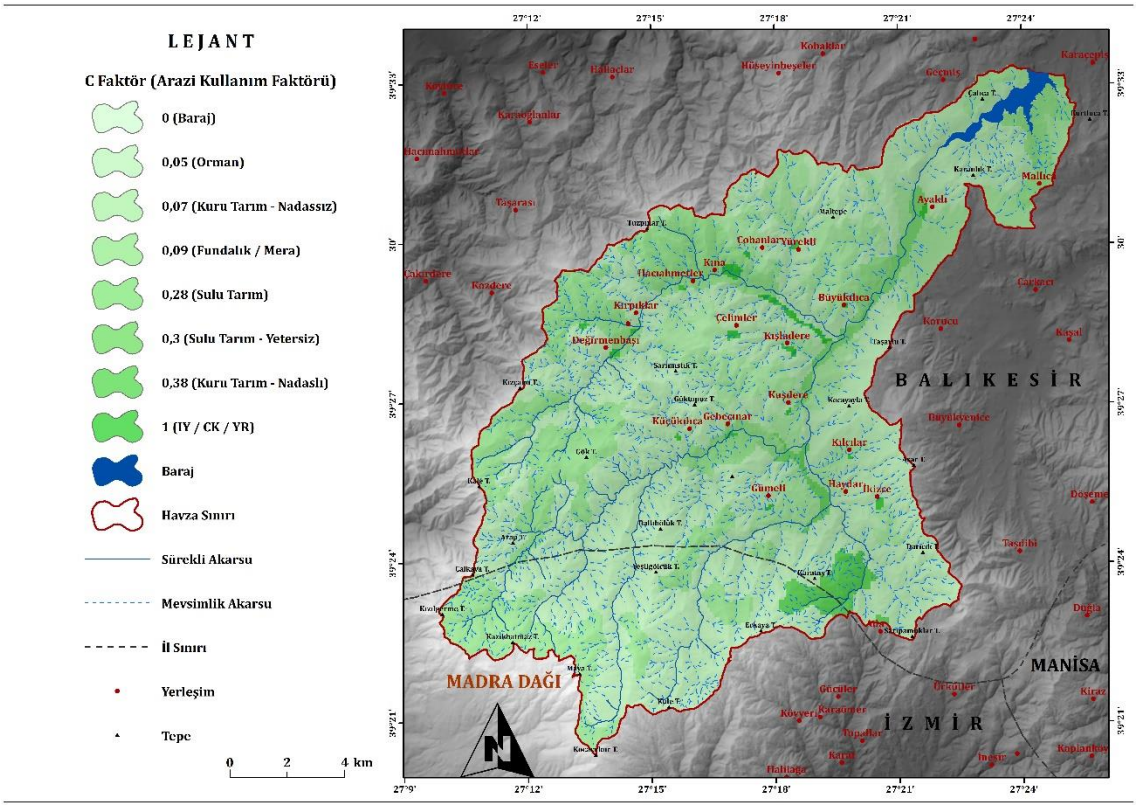
Haritadan görüldüğü üzere (Şekil 68) havzanın büyük bölümü düşük C değerleri ile temsil edilmektedir. Bunun temel nedeni, havzada orman alanlarının geniş yer kaplamasıdır. Ormanlık alanlara atanan 0,05 değeri nedeniyle haritanın önemli bir kısmı açık yeşil tonlarda görünmektedir. Bu durum bitki örtüsünün yüzeyi koruyarak yağmur damlalarının doğrudan toprak yüzeyine etkisini azalttığını ve yüzey akışını sınırlandırdığını göstermektedir.

Buna karşılık daha yüksek C değerleri, özellikle tarımsal faaliyetlerin yoğunlaştığı alanlarda görülmektedir. Nadaslı kuru tarım alanları (C=0,38), sulu tarım alanları (C=0,28–0,30) ve bazı yerel kullanımlar haritada daha koyu yeşil tonlarla temsil edilmiştir. Bu alanlarda bitki örtüsünün koruyucu etkisinin azalması nedeniyle potansiyel erozyon riskinin yükseldiği değerlendirilmektedir.

Haritada ayrıca çıplak kaya, yerleşim alanları ve ırmak taşkın yatağı gibi sınıflara yüksek C değerleri atanmıştır (C=1). Bu alanlar havza içerisinde sınırlı yer

kaplamakla birlikte, bitki örtüsünün koruyucu etkisinin bulunmadığı veya oldukça düşük olduğu alanlar olarak dikkat çekmektedir.

Sonuç olarak C faktörü haritası (Şekil 68), Ardıçtepe Barajı Havzası'nda bitki örtüsünün ve arazi kullanımının erozyonu büyük ölçüde sınırlandırdığını göstermektedir. Havzada orman alanlarının baskın olması, C faktörü değerlerinin genel olarak düşük kalmasına ve erozyon riskinin azaltılmasına katkı sağlamaktadır.



Şekil 68. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın C Faktör Haritası

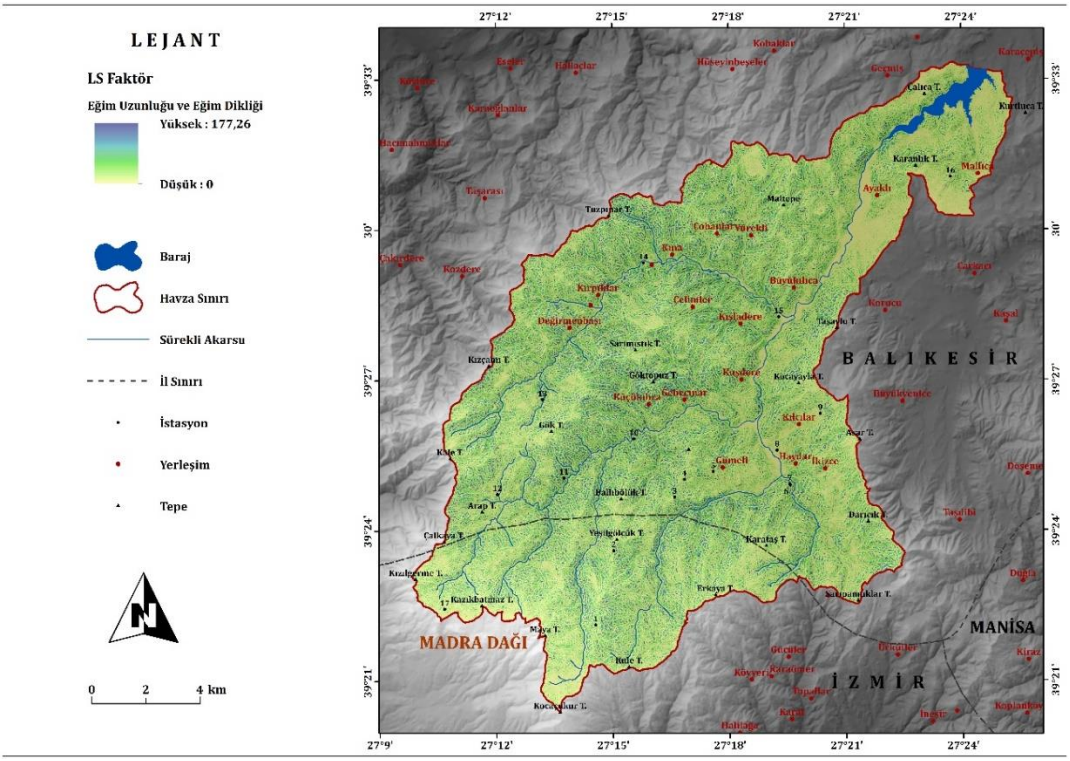
Kaynak: Orijinal

4.1.2.4. Eğim Uzunluğu ve Eğim Dikliği Faktörü (LS)

Eğim uzunluğu ve eğim dikliği faktörü (LS), topografik özelliklerin erozyon üzerindeki etkisini ifade eden RUSLE modelinin temel parametrelerinden biridir. Bu faktör, yüzey akışının eğim boyunca kat ettiği mesafe ile eğimin diklik derecesinin birleşik etkisini temsil etmektedir. Eğim uzunluğunun artması yüzey akışının taşıma gücünü artırırken, eğim dikliğinin artması akış hızını yükselterek toprak parçacıklarının koparılmasını ve taşınmasını kolaylaştırmaktadır.

LS faktörü sayısal yükseklik modeli (SYM) kullanılarak CBS ortamında hesaplanmıştır. Bu kapsamda akış yönü, akış birikimi ve eğim verileri kullanılarak her hücre için LS faktörü değerleri elde edilmiş ve havzanın topografik koşullarına bağlı erozyon potansiyeli ortaya konulmuştur. Yüksek LS değerleri, topoğrafyanın erozyonu artırıcı etkisinin daha belirgin olduğu alanları gösterirken, düşük değerler erozyon açısından daha düşük topografik duyarlılığı ifade etmektedir.

LS faktörü haritası incelendiğinde (Şekil 69), havza genelinde değerlerin topoğrafik özelliklere bağlı olarak önemli ölçüde değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Hesaplanan LS faktörü değerleri 0 ile 177,26 arasında değişmekte olup ortalama değer 6,90 olarak belirlenmiştir. Ortalama değerin nispeten düşük olması, havzanın geniş bir bölümünde topoğrafik koşulların erozyonu aşırı derecede artırmadığını göstermektedir. Bununla birlikte yüksek LS değerleri özellikle dik yamaçlarda, parçalanmış relief özelliklerinin görüldüğü alanlarda ve akış yolları boyunca yoğunlaşmaktadır. Bu alanlarda eğim uzunluğu ve eğim dikliğinin birlikte etkisiyle yüzey akışının hızı ve taşıma kapasitesi artmakta, dolayısıyla erozyon potansiyeli yükselmektedir.



Şekil 69. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın LS Faktör Haritası

Kaynak: Orijinal

Harita üzerinde düşük LS değerleri daha çok düz ve hafif eğimli alanlarda görülürken, yüksek değerler havzanın dağlık kesimlerinde ve yan dere vadileri boyunca belirginleşmektedir. Özellikle Madra Dağı'nın yüksek eğimli yamaçlarında topoğrafyanın erozyonu artırıcı etkisi daha belirgin hâle gelmektedir. Akışın yoğunlaştığı dere yatakları ve yamaç geçiş zonlarında görülen yüksek LS değerleri, bu alanların topoğrafik açıdan erozyona daha duyarlı olduğunu ortaya koymaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, Ardıçtepe Barajı Havzası'nda topoğrafya erozyon süreçleri üzerinde önemli bir kontrol mekanizması oluşturmaktadır. Elde edilen sonuçlar, havzada erozyon riskinin özellikle yüksek eğimli ve akış birikiminin fazla olduğu alanlarda yoğunlaşabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte LS faktörü tek başına gerçek toprak kaybını ifade etmemekte, yalnızca topoğrafyanın erozyon üzerindeki etkisini göstermektedir.

4.1.2.5. Toprak Koruma Faktörü (P)

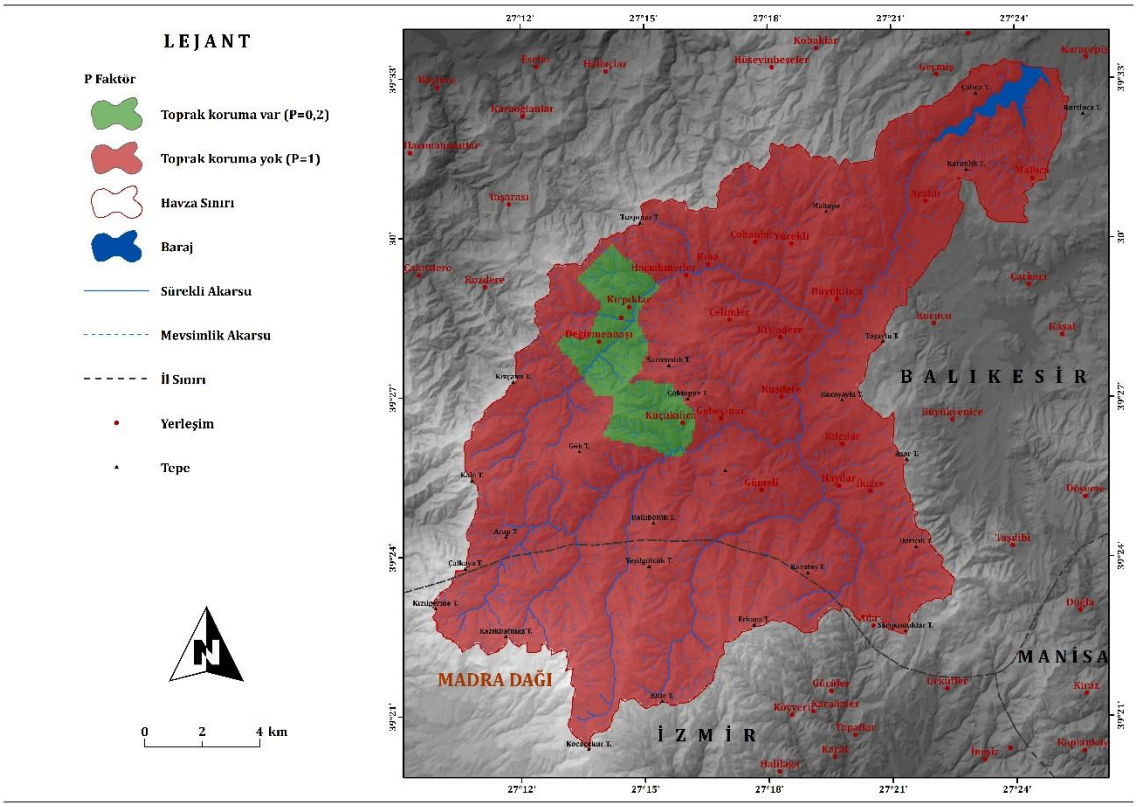
Toprak koruma faktörü (P), erozyonu azaltmaya yönelik uygulanan mühendislik ve biyoteknik önlemlerin etkisini ifade etmektedir. Çalışma havzasında T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü tarafından Değirmenbaşı ve Küçükılıca çevresinde erozyon kontrol projeleri gerçekleştirildiği belirlenmiştir (Tablo 48). Bu alanlarda kafes tel eşik, kuru taş duvar eşik ve miks eşik gibi yapısal önlemler bulunduğundan P değeri 0,2 olarak atanmıştır. Havzanın geri kalan kesimlerinde ise herhangi bir koruma tedbiri bulunmadığından P değeri 1 olarak kabul edilmiştir.

Hazırlanan P faktörü haritası incelendiğinde (Şekil 70) koruma uygulamalarının havzanın sınırlı bir bölümünde yoğunlaştığı görülmektedir. Bu nedenle havzanın büyük bölümünde erozyon süreçleri doğal koşullar altında devam etmekte olup, koruma önlemlerinin etkisi yalnızca proje sahaları ile sınırlı kalmaktadır. Değirmenbaşı ve Küçükılıca çevresindeki uygulamalar yüzey akış hızını azaltarak sediment taşınımını sınırlandırmakta ve buna bağlı olarak potansiyel toprak kaybını düşürmektedir.

Tablo 48. Çalışma Havzasındaki Toprak Koruma Uygulamaları ve P Faktörü Katsayıları

Proje Alanı	Km^2	Uygulama Türü	P Değeri
Değirmenbaşı	9,85	Kafes tel eşik, kuru taş eşik, miks eşik	0,2
Küçükılıca	6,02	Kafes tel eşik, kuru taş eşik, miks eşik	0,2
Diğer Alanlar	241,5	Koruma önlemi yok	1

Kaynak: Orijinal



Şekil 70. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın P Faktör Haritası

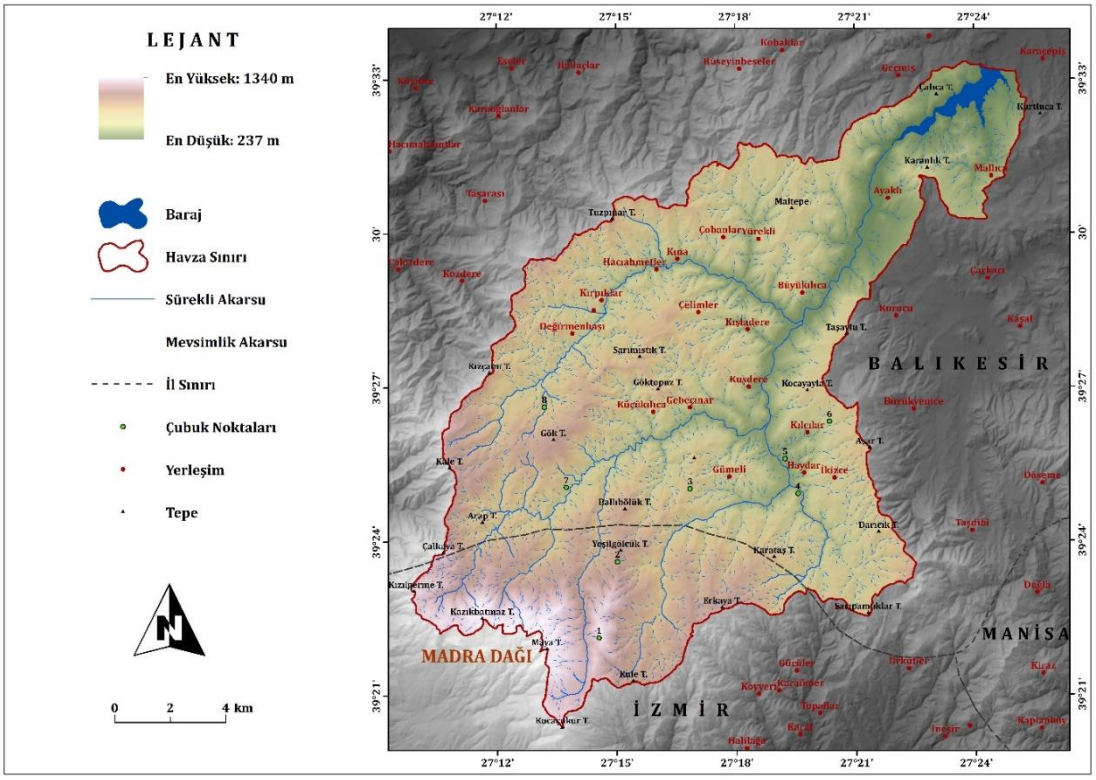
Kaynak: Orijinal

4.1.3. Arazi Gözlemleri ve Erozyon Ölçüm Çubuklarının Değerlendirilmesi

Arazi gözlemlerinin değerlendirilmesi amacıyla Ardıçtepe Baraj Havzası içerisinde farklı topoğrafik ve jeolojik özelliklere sahip sekiz noktaya erozyon ölçüm çubukları yerleştirilmiştir (Şekil 71 ve 72 ile Tablo 49). Yaklaşık bir buçuk yıllık (21 Haziran 2024 – 28 Ocak 2026) gözlem sürecinin ardından gerçekleştirilen arazi çalışmalarında dört noktada ölçüm yapılabilmiş, dört noktada ise çubuklara

ulaşılamamıştır. Ölçüm alınabilen noktalar havzanın farklı yükselti, eğim, litoloji ve toprak özelliklerini temsil ettiğinden, elde edilen verilerin havzadaki yüzey süreçlerini değerlendirmek açısından yeterli olduğu düşünülmektedir.

Arazi gözlemleri sonucunda en yüksek aşınma, Çavdarlık Tepe'nin kuzeydoğusunda bulunan 1 numaralı çubukta belirlenmiştir. Permiyen-Triyas yaşlı metakırıntılı kaya birimleri üzerinde yer alan ve yaklaşık 30° eğime sahip bu noktada 4 cm aşınma ölçülmüştür. Bu durum, yüksek eğim değerlerinin yüzey akışını hızlandırarak toprak taşınımını artırdığını göstermektedir. Benzer şekilde Haydar'ın kuzeybatısında yer alan ve yaklaşık 10° eğime sahip 5 numaralı çubukta da 3 cm



Şekil 71. Ardıçtepe Barajı Havzası'nda Erozyon Ölçüm Çubuklarının Konumları

Kaynak: Orijinal

aşınma tespit edilmiştir. Bu sonuç, aşınma miktarının yalnızca eğim faktörü ile açıklanamayacağını; litoloji, toprak özellikleri, yüzey örtüsü ve arazi kullanımının da erozyon süreçleri üzerinde etkili olduğunu ortaya koymaktadır.

Gümeli'nin güneybatısında bulunan 3 numaralı çubukta ise herhangi bir aşınma veya birikme gözlenmemiştir. Yaklaşık 25° eğime sahip bu noktada net değişim meydana gelmemesi, eğim değerlerinin tek başına erozyonun belirleyicisi olmadığını

göstermektedir. Özellikle yüzey örtüsü, toprak özellikleri ve yüzey stabilitesi gibi faktörlerin erozyon sürecini sınırlandırmış olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 72. Arazi Çalışmaları Sırasında Erozyon Çubuğu Kullanılarak Gerçekleştirilen Ölçüm Uygulaması

Kaynak: Orijinal

Tablo 49. Araziye Yerleştirilen Erozyon Çubuklarında Gözlenen Değişimler ve Bulunduğu Noktaların Coğrafi Özellikleri

Çubuk Ölçümleri	Gözlenen Değişim (cm)	Coğrafi Özellikleri
1. Çubuk	4 cm aşınma	**Konum:** Çavdarlık Tepe (Maya T'nin kuzeydoğusu) **Jeoloji:** Permiyen-Triyas / Metakırıntılı Kaya **Toprak:** KKOT **Eğim:** 30^0 Dik Yamaç
2. Çubuk	Çubuk yerinde tespit edilememiştir.	---
3. Çubuk	0 cm (net değişim gözlemlenmemiştir).	**Konum:** Gümeli'nin güneybatısı **Jeoloji:** Permiyen-Triyas / Çakıltaşı, Kumtaşı, Çamurtaşı **Toprak:** KOT **Eğim:** 25^0 Dik Yamaç
4. Çubuk	1 cm birikme	**Konum:** Haydar'ın güneyi **Jeoloji:** Permiyen-Triyas / Çakıltaşı, Kumtaşı, Çamurtaşı **Toprak:** KOT **Eğim:** 23^0 Dik Yamaç
5. Çubuk	3 cm aşınma	**Konum:** Haydar'ın kuzeybatısı **Jeoloji:** Üst Miyosen-Pliyosen / Aglomera **Toprak:** KKOT **Eğim:** 10^0 Az Eğimli Yamaç
6. Çubuk	Çubuk yerinde tespit edilememiştir.	---
7. Çubuk	Çubuk yerinde tespit edilememiştir.	---
8. Çubuk	Çubuk yerinde tespit edilememiştir.	---

Kaynak: Orijinal

Haydar'ın güneyinde bulunan 4 numaralı çubukta ise 1 cm birikme ölçülmüştür. Bu durum, havza içerisinde yalnızca aşınım süreçlerinin değil, aynı zamanda sediman birikiminin de gerçekleştiğini göstermektedir. Üst kesimlerden taşınan malzemenin daha düşük enerjili alanlarda depolanması sonucunda oluşan bu birikim, havzada sediman taşınımının aktif olarak devam ettiğini ortaya koymaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, arazi gözlemleri Ardıçtepe Baraj Havzası'nda erozyon süreçlerinin mekânsal olarak farklılık gösterdiğini ortaya koymuştur. Aynı veya benzer eğim koşullarına sahip alanlarda farklı sonuçların elde edilmesi, erozyonun yalnızca topoğrafik faktörlere bağlı olmadığını; litoloji, toprak özellikleri, arazi kullanımı ve bitki örtüsü gibi birçok çevresel faktörün birlikte etkili olduğunu göstermektedir. Ayrıca bazı noktalarda aşınım, bazı noktalarda ise birikim gözlenmesi, havza içerisinde sediment taşınımının dinamik bir karakter taşıdığını ve yüzey süreçlerinin alansal değişkenlik gösterdiğini ortaya koymaktadır.

4.2. Zarar Görebilirlik Analizi

Afet risk yönetiminin temel bileşenlerinden biri olan zarar görebilirlik; Ardıçtepe Barajı Havzası özelinde, havzadan kaynaklanan erozyon süreçlerinin hem barajın hidrolik ömrü hem de havza ekosistemi üzerindeki potansiyel olumsuz etkilerini ifade etmektedir. Bu çalışma kapsamında zarar görebilirlik, barajın işlevsel sürdürülebilirliği (rezervuar kapasite kaybı) ve havzanın topografik/pedolojik hassasiyeti (erozyon duyarlılığı) olmak üzere iki temel boyutta ele alınmıştır.

Baraj rezervuarı, erozyonun en doğrudan etkilediği alanlardan biridir. Havza boyunca taşınan sedimentlerin rezervuar içinde birikmesi, barajın aktif su depolama kapasitesini zamanla azaltmakta ve bu durum enerji üretimi, sulama ve taşkın kontrolü gibi baraj işlevlerini doğrudan tehdit etmektedir. Ayrıca, sediment birikimi sonucunda su kalitesinin bozulması ve rezervuar ekosisteminin zarar görmesi, çevresel etkilerin de göz ardı edilemeyecek düzeyde olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, rezervuar çevresindeki toprakların erozyona duyarlılığı, yüksek öncelikli bir değerlendirme konusudur.

Ardıçtepe Barajı Havzası'ndaki erozyon kaynaklı zarar görebilirlik analizi; IPCC (2014) ve UNDRR (2020) metodolojileri ile uyumlu olarak, maruziyet, hassasiyet ve uyum kapasitesi parametrelerinin bir sentezi olarak kurgulanmıştır.

Analizin bu bölümünde, baraj rezervuarındaki batimetrik değişimler ile havzadaki erozyon süreçleri ilişkilendirilerek, havzanın çevresel tehditlere karşı kırılganlık düzeyi mekânsal olarak ortaya konulmuştur. Bu yaklaşım, sadece mevcut toprak kaybının miktarını belirlemekle kalmamış, aynı zamanda barajın hizmet ömrünü tehdit eden sedimentasyon riskinin bütüncül bir perspektifle değerlendirilmesine olanak sağlamıştır.

4.2.1. Ardıçtepe Barajı'nın Hidro-Teknik Karakteristikleri ve İşletme Parametreleri

Baraj Balıkesir ili, İvrindi ilçesinin 7,5 km güneybatısında Madra (Kocaçay) üzerinde yer alıyor. Ardıçtepe Barajı'nın talvegden yüksekliği 39 m, depolama hacmi 37.60 hm^3 ve gövde dolgu hacmi 1.7 hm^3. Kil çekirdekli kum-çakıl dolgu tipindeki barajın sol sahilinde 230 m uzunluğunda inşaa edilen dolusavak kanalının deşarj debisi 1186,50 m^3/sn. Derivasyon tüneli sol sahilde ve 4,5 m net iç çapında ve 374 m uzunluğundadır. Ardıçtepe Barajı 260,50 km^2 yağış alanına sahiptir. Temelden yüksekliği 49,50 metre olan, Ardıçtepe Baraj'ında depolanan 27,35 milyon m^3 su ile toplamda 36.620 dekar zirai tarım arazisi modern sistemle sulanmaktadır (DSİ, 2015) (Tablo 50).

Tablo 50. Ardıçtepe Barajı Rezervuarına Ait Temel Hidro-Teknik Karakteristikler ve İşletme Parametreleri (DSİ, 2015)

Hidroloji ve Göl	
Yağış alanı	258,2 km^2
Yıllık ortalama akım	89,66 hm^3 (1967-2008)
Regülasyon oranı	24,13
Sulama için çekilen su	21,634 hm^3/yıl
İçme kullanma için çekilen su	-
Toplam çekilen su	21,634 hm^3/yıl
Maksimum su seviyesi	272,85 m
Normal su seviyesi	268,60 m
Minimum su seviyesi	253,00 m

Tablo 50 - devamı

Maksimum su seviyesindeki hacim	37,60 hm^3
Normal su seviyesindeki hacim	27,35 hm^3
Minimum su seviyesindeki hacim	3,900 hm^3
Aktif hacim	23,45 hm^3
Ölü hacim	3,90 hm^3
Maksimum su seviyesindeki göl alanı	2,78 km^2
Normal su seviyesindeki göl alanı	2,27 km^2
Minimum su seviyesindeki göl alanı	0,750 km^2
Baraj Gövdesi	
Tipi	Kil çekirdekli toprak dolgusu
Kret kotu	275,00 m
Talveg kotu	236,00 m
Talvegten yüksekliği	39,00 m
Temelden yüksekliği	49,50 m
Kret uzunluğu	705,00 m
Kret genişliği	10,00 m
Memba şevi	1/3
Mansap şevi	1 / 2,5
Toplam gövde + batardo dolgu hacmi	1.700.000 m^3
Geçirimsiz kil dolgu zonu	460.000 m^3
Geçirimli kum-çakıl zonu	1.006.500 m^3
Filtre kum	80.400 m^3
Filtre çakıl	64.200 m^3
Tüvenan	8.500 m^3
Koruyucu	27.000 m^3
Riprap	53.400 m^3

Tablo 50 - devamı

Dolu Savak	
Yeri	Sol sahil
Tipi	Karşıdan alışlı, kontrolsüz
Yaklaşım kanalı kotu	267,00 m
Dolu savak kret kotu	268,60 m
Dolu savak genişliği (kret uzunluğu)	65,00 m
Dolu savak taşkın debisi	1.359,00 m^3/s
Dolu savak deşarj debisi	1.186,00 m^3/s
Enerji kırıcı tipi	Enerji kırıcı havuz (Tip II)
Derivasyon Tüneli	
Yeri	Sol sahil
Tipi	Atnalı kesit
Tünel iç çapı	4,50 m
Tünel uzunluğu	380,00 m
Tünel giriş kotu	239,00 m
Tünel çıkış kotu	237,50 m
25 yıllık pik debisi	306,00 m^3/s
Batardo (memba)	
Batardo tipi	Toprak dolgu
Batardo kret kotu	254,00 m
Batardo yüksekliği (Talvegden)	18,00 m
Kret uzunluğu	424,00 m
Kret genişliği	13,00 m
Memba şevi	1 / 3,5
Mansap şevi	1 / 3

Tablo 50 - devamı

Dipsavak	
Yeri	Derivasyon tüneli içi
Cebri boru uzunluğu	190,00 m
Cebri boru çapı	1,20 m
Tehlike vanası çapı ve tipi	1,35 m kelebek vana
Ayar vanası ebadı ve tipi	1,10 m * 1,10 m sürgülü vana
Enerji kırıcı tipi	Çarpmalı havuz

Kaynak: Orijinal

Ardıçtepe Barajı'nın hidro-teknik karakteristikleri incelendiğinde (Tablo 50); barajın 258,2 km² gibi geniş bir yağış alanına sahip olması, havza genelindeki erozyon süreçlerinin rezervuar üzerindeki potansiyel baskısını doğrudan artırmaktadır (Şekil 73). Tabloda belirtilen 272,85 m maksimum su seviyesi, barajın en kritik işletme eşiği olup; Şekil 74'deki dolu savak aktivitesi bu seviyeye ulaşıldığının güncel bir kanıtıdır. Özellikle sedimantasyon yönetimi açısından hayati önem taşıyan 3,90 hm³'lük ölü hacim kapasitesi, havzadan taşınan rüsubatın depolanması için ayrılan tolerans alanını temsil etmektedir. Ancak, ilerleyen bölümlerde sunulacak olan batimetrik analiz sonuçları, bu hacmin dolma hızının barajın toplam hizmet ömrü ve işlevsel sürdürülebilirliği üzerindeki zarar görebilirlik düzeyini net bir şekilde ortaya koyacaktır.



Şekil 73. Ardıçtepe Barajı Rezervuar Alanı ve Baraj Gövdesinin Genel Görünümü (02.03.2026). Fotoğrafın Sağ Bölümünde, Kret Kotu 275,00 m Olan ve Barajın En Üst Sınırını Oluşturan Kret Hattı ile Kil Çekirdekli Dolgu Tipindeki Gövde Yapısı Görülmektedir. Maksimum Su Seviyesine Ulaşmış Olan Rezervuar Yüzeyi, Barajın 37,60 hm³'lük Toplam Depolama Kapasitesinin Sahadaki Alansal Yayılımını Temsil Etmektedir.

Kaynak: Orijinal

4.2.2. Rezervuar Kapasite Kaybı ve Sedimantasyon Analizi

Ardıçtepe Barajı'nın işlevsel sürdürülebilirliğini değerlendirmek amacıyla; havzadan kaynaklanan sediment verimi (RUSLE/MPSIAC/SİO) ile rezervuarda gerçekleşen fiziksel hacim kaybı (batimetrik analiz) bu bölümde bütüncül bir yaklaşımla ele alınmıştır. Havzada gerçekleşen erozyon süreçlerinin rezervuar kapasitesi üzerindeki doğrudan etkileri, çok zamanlı batimetrik veriler ve rüsubat analizleri ile alansal olarak doğrulanmıştır.



Şekil 74. Ardıçtepe Barajı Rezervuarı ve Dolu Savak Sisteminin Mansap Yönlü Görünümü (02.03.2026). Fotoğrafta Su Seviyesinin 268,60 m Olan Dolu Savak Kret Kotuna Ulaştığı ve Kontrollü Tahliyenin Başladığı Görülmektedir. Bu Durum, Analizlerde "Maksimum İşletme Seviyesi" Olarak Tanımlanan Kapasite Sınırlarının Sahadaki Güncel Karşılığını Doğrulamaktadır. Rezervuar Yüzeyindeki Suyun Bulanıklığı, Havza Genelinden Taşınan Rüsubat Yükünün ve Yüzeysel Akışın Görsel Bir Göstergesi Niteliğindedir.

Kaynak: Orijinal

4.2.2.1. Havza Bazlı Erozyon ve Sediman Verimi Modellemesi

Bu bölümde Ardıçtepe Barajı Havzası'nın erozyon duyarlılığı ve sediment üretim potansiyeli, farklı modelleme yaklaşımları kullanılarak değerlendirilmiştir. Havza ölçeğinde erozyon süreçlerinin nicel olarak belirlenmesi amacıyla MPSIAC ve RUSLE modelleri uygulanmış, elde edilen sediment üretim değerleri Sediment İletim Oranı (SİO) yaklaşımı ile birlikte değerlendirilerek havza içerisinde üretilen sedimentin ne kadarının drenaj ağı aracılığıyla çıkış noktasına ve baraj rezervuarına ulaşabileceği ortaya konulmuştur. Böylece havzanın erozyon karakteri, sediment üretim potansiyeli ve sediment taşınımı süreçleri bütüncül bir yaklaşımla incelenmiştir.

4.2.2.1.1. MPSIAC Modeli

MPSIAC modeli; yüzey jeolojisi, toprak özellikleri, iklim, yüzey akışı, topoğrafya, arazi örtüsü, arazi kullanımı, oyuntu erozyonu ve yüzey erozyonu olmak üzere dokuz temel faktörün birlikte değerlendirilmesine dayanmaktadır. Her bir faktör için ilgili parametreler CBS ortamında raster veri formatında hazırlanmış ve model kapsamında önerilen eşitlikler kullanılarak faktör puanları hesaplanmıştır. Daha sonra dokuz faktöre ait raster katmanlar hücre bazında toplanarak havzanın toplam MPSIAC puan haritası elde edilmiştir.

MPSIAC modeline göre hesaplanan toplam puan (R) değerleri havza genelinde 47,99 ile 118,28 arasında değişmektedir. Elde edilen sonuçlar, havza içerisinde erozyon süreçlerinin alansal olarak farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır. Düşük puan değerleri daha çok eğimin az olduğu ve yüzey süreçlerinin nispeten sınırlı kaldığı alanlarda görülürken, yüksek puan değerleri topoğrafik eğimin arttığı ve yüzey akışının yoğunlaştığı kesimlerde belirginleşmektedir. Bu durum havzanın morfolojik özelliklerinin erozyon süreçleri üzerinde önemli bir kontrol mekanizması oluşturduğunu göstermektedir.

Toplam MPSIAC puanlarının sediment verimine dönüştürülmesinde Johnson ve Gebhardt (1982) tarafından önerilen eşitlik kullanılmıştır. Bu eşitlik daha sonraki birçok MPSIAC uygulamasında da kullanılmış olup (örn. Najm ve ark., 2013), toplam puan ile sediment verimi arasındaki ampirik ilişkiyi tanımlamaktadır.

$$Q_s = 0.253e^{0.036R}$$

Burada Qs sediment verimini (t/ha/yıl), R ise toplam MPSIAC puanını ifade etmektedir. Bu eşitlik kullanılarak havza genelindeki yıllık sediment verimi raster bazında hesaplanmış ve sediment üretiminin mekânsal dağılımı ortaya konulmuştur.

Sediment verimi sonuçlarına göre havza genelinde minimum değer 1,42 t/ha/yıl, maksimum değer ise 17,88 t/ha/yıl olarak belirlenmiştir. Ortalama sediment verimi ise 4,56 t/ha/yıl'dır. Elde edilen değerler, havzada sediment üretiminin genel olarak düşük ve orta düzeyler arasında değiştiğini, ancak bazı lokal alanlarda daha yüksek sediment üretim potansiyelinin bulunduğunu göstermektedir. Özellikle eğimin yüksek olduğu ve yüzey akışının yoğunlaştığı alanlarda sediment veriminin arttığı gözlenmiştir.

Havzanın toplam sediment yükünün belirlenebilmesi amacıyla ortalama sediment verimi havza alanı ile çarpılmıştır. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın alanı 257,3 km² (25.730 ha) olduğundan, yıllık toplam sediment yükü yaklaşık 117.651 ton/yıl olarak hesaplanmıştır (Tablo 51). Bu sonuç, havzada her yıl önemli miktarda sediment üretildiğini ve bu sedimentin bir bölümünün drenaj ağı aracılığıyla havza çıkışına ve rezervuar alanına taşınabileceğini göstermektedir.

MPSIAC modelinden elde edilen sonuçlar, havza içerisinde sediment üretiminin topoğrafik koşullar, yüzey akışı ve arazi özellikleri tarafından güçlü biçimde kontrol edildiğini ortaya koymaktadır. Sediment veriminin yüksek olduğu alanlar, potansiyel erozyon riskinin yoğunlaştığı bölgeler olarak değerlendirilebilir. Bu alanlarda gerçekleşen sediment üretimi, uzun vadede toprak kaybının artmasına ve rezervuar alanlarında sediment birikiminin hızlanmasına neden olabileceğinden, havza yönetimi ve erozyon kontrolü açısından öncelikli bölgeler olarak dikkate alınmalıdır.

Tablo 51. MPSIAC (R) Modeline Ait Temel Sonuçlar

PARAMETRE	DEĞER
R min	47,99
R max	118,28
Qs min	1,42 t/ha/yıl
Qs max	17,88 t/ha/yıl
Qs ortalama	4,56 t/ha/yıl
Toplam sediment yükü	117.651 ton/yıl

Kaynak: Orijinal

4.2.2.1.2. RUSLE Modeli

RUSLE modeli sonucunda çalışma havzasında ortalama yıllık toprak kaybı 2,88 ton/ha/yıl olarak belirlenmiştir. Havza genelinde meydana gelen toplam yıllık toprak kaybının hesaplanabilmesi amacıyla elde edilen ortalama erozyon değeri havza alanı ile çarpılmıştır. Bu kapsamda 25.730 ha büyüklüğündeki çalışma havzasında toplam yıllık toprak kaybı aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır:

Toplam Toprak Kaybı (ton/yıl) = Ortalama Toprak Kaybı (ton/ha/yıl) × Havza Alanı (ha)

Toplam Toprak Kaybı = 2,88 × 25.730

Toplam Toprak Kaybı = 74.102,4 ton/yıl

RUSLE modeli havzada meydana gelen toplam toprak kaybını ortaya koymakta, ancak erozyona uğrayan materyalin tamamı havza çıkışına ulaşmamaktadır. Bu nedenle havza içerisinde üretilen sedimentin akarsu sistemi aracılığıyla çıkış noktasına taşınan kısmını belirlemek amacıyla Sediment İletim Oranı (SİO) kullanılmıştır. SİO değeri, havza alanına bağlı ampirik eşitlik yardımıyla hesaplanmış ve 257,3 km² büyüklüğündeki çalışma havzası için yaklaşık 0,20 olarak belirlenmiştir (Vanoni, 1975).

Bu doğrultuda yıllık sediment verimi aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır:

Sediment Verimi (ton/yıl) = Toplam Toprak Kaybı (ton/yıl) × SİO

Sediment Verimi = 74.102,4 × 0,20

Sediment Verimi = 14.820,48 ton/yıl

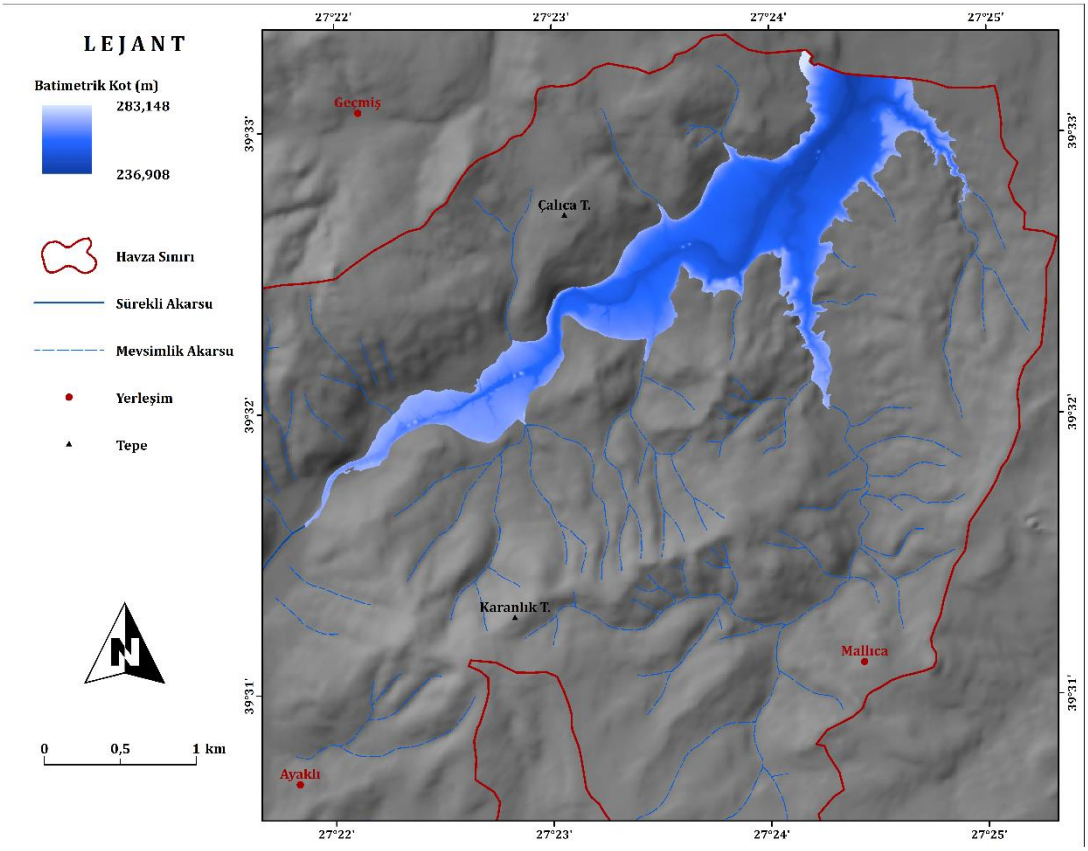
Sonuç olarak RUSLE modeli ve SİO yaklaşımı birlikte değerlendirildiğinde, çalışma havzasında yıllık yaklaşık 14.820 ton sedimentin havza çıkışına taşınabileceği belirlenmiştir. Elde edilen bu değer, havzada meydana gelen erozyonun önemli bir bölümünün havza içerisinde depolandığını, buna karşın belirli miktardaki sedimentin akarsu sistemi aracılığıyla taşınarak baraj rezervuarına ulaşma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

4.2.2.2. Çok Zamanlı Batimetrik Verilerle Kapasite Değişiminin Belirlenmesi

Ardıçtepe Barajı rezervuarında zaman içerisinde meydana gelen hacimsel değişimleri ve sedimantasyon birikimini doğrudan tespit etmek amacıyla çok zamanlı batimetrik analizler gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, barajın işletmeye alındığı 2016 yılına ait ilk batimetrik veriler ile 2023 yılında gerçekleştirilen güncel ölçümler karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Yapılan analizler, sadece toplam kapasite kaybını rakamsal olarak ortaya koymakla kalmamış, aynı zamanda rezervuar taban

topografyasında rüsubat birikimine bağlı olarak meydana gelen morfolojik değişimlerin alansal dağılımını da net bir şekilde yansıtmıştır.

Şekil 75 ve 76 karşılaştırmalı olarak incelendiğinde; 2016 yılında 236,908 m olan minimum taban kotunun, 2023 yılında 239,874 m seviyesine yükseldiği tespit edilmiştir. Bu yaklaşık 3 metrelik dikey dolgu, rezervuarın 'ölü hacim' olarak ayrılan kısmının hızla dolmaya başladığını göstermektedir. Özellikle havzanın güneyinden gelen mevsimlik akarsu kollarının ağız kısımlarında sediment birikimine bağlı sığlaşmalar dikkat çekicidir. Bu morfolojik değişim, barajın toplam su depolama kapasitesinde meydana gelen 0,51 hm³'lük azalmanın alansal karşılığıdır.

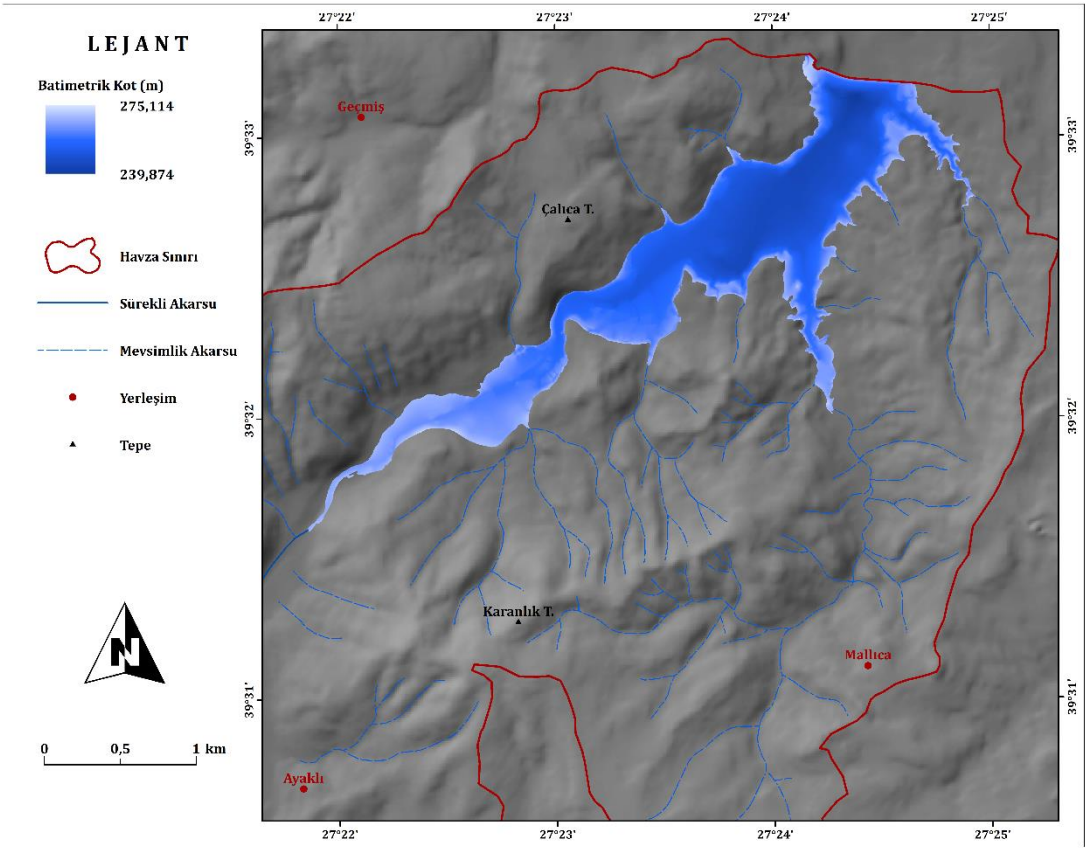


Şekil 75. Ardıçtepe Barajı Rezervuar Alanının İşletme Başlangıç Dönemine (2016) Ait Alansal Derinlik Dağılımı ve Taban Topografyası. Haritada, Baraj Gölünün Orijinal Vadi Morfolojisini Yansıtan 236,9 m Seviyesindeki Minimum Taban Kotu ve Morfometrik Özellikleri Görülmektedir.

Kaynak: Orijinal

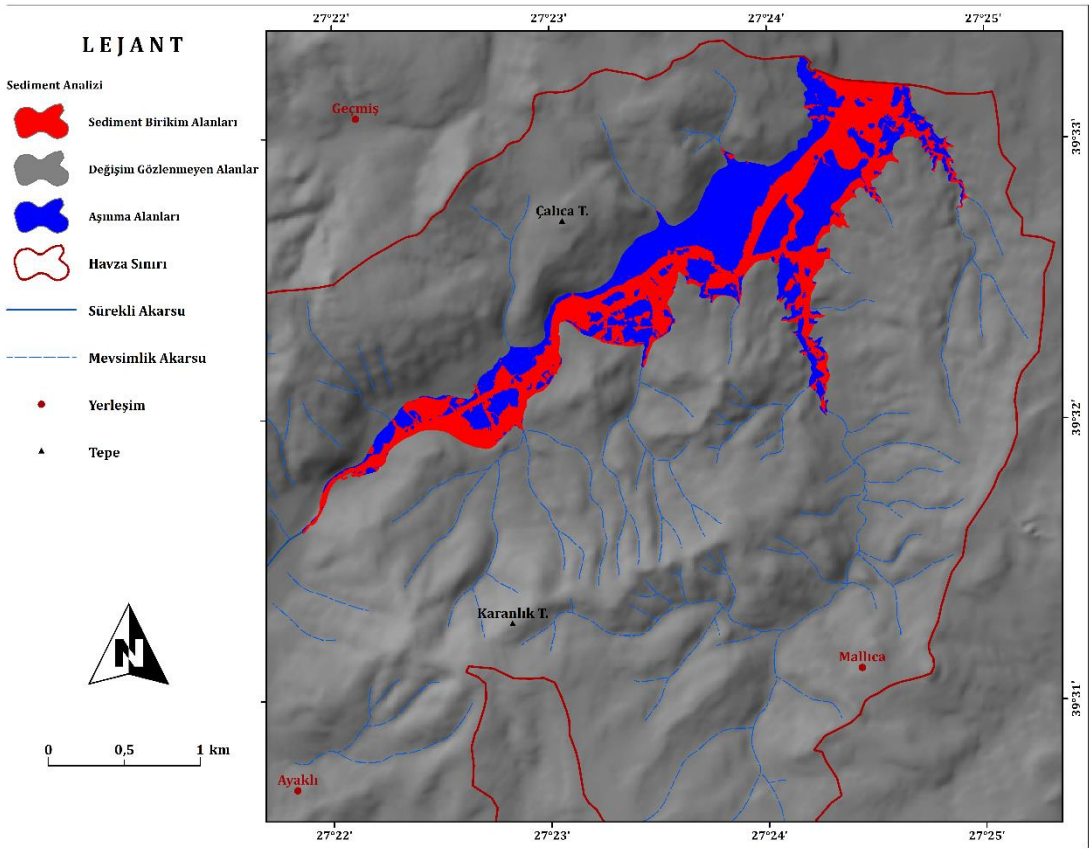
İki dönem arasındaki bu kot değişimlerini daha detaylı ve hacimsel olarak analiz etmek amacıyla ArcGIS ortamında "Cut and Fill" analizi uygulanmıştır. Şekil 77'de sunulan rüsubat analizi haritası, rezervuar tabanındaki net birikim noktalarını (Fill) ve aşınma bölgelerini alansal olarak doğrulamaktadır.

2016 ve 2023 batimetrik verilerinin karşılaştırılmasıyla üretilen rüsubat analizi haritası (Şekil 77), rezervuardaki sedimentasyonun alansal karakterini net bir şekilde ortaya koymaktadır. Haritada kırmızı ile temsil edilen sediment birikim alanları, rezervuarın özellikle sığ kesimlerinde ve akarsu ağızlarında yoğunlaşmaktadır. Bu durum, barajın aktif hacminde meydana gelen azalmanın sadece dikey dolgu ile değil, aynı zamanda rezervuar kıyı çizgisi boyunca meydana gelen yan birikimlerle de gerçekleştiğini göstermektedir. Mavi ile gösterilen aşınma alanları ise yerel akış dinamiklerine bağlı olup, genel sedimantasyon eğilimi içerisinde oldukça sınırlı bir yer kaplamaktadır.



Şekil 76. Ardıçtepe Barajı Rezervuarının 2023 Yılı Güncel Ölçümlerine Dayalı Alansal Derinlik Değişimi ve Rüsubat Birikim Karakteristiği. Yedi Yıllık Süreçte Taban Kotunun 239,8 m Seviyesine Yükseldiği ve Sediment Yığılmasına Bağlı Olarak Rezervuarın Dikey Yönde Sığlaştığı İzlenmektedir.

Kaynak: Orijinal



Şekil 77. Ardıçtepe Barajı Rezervuar Tabanındaki 2016-2023 Dönemi Rüsubat Değişim Analizi ve Birikim Alanlarının Alansal Dağılımı

Kaynak: Orijinal

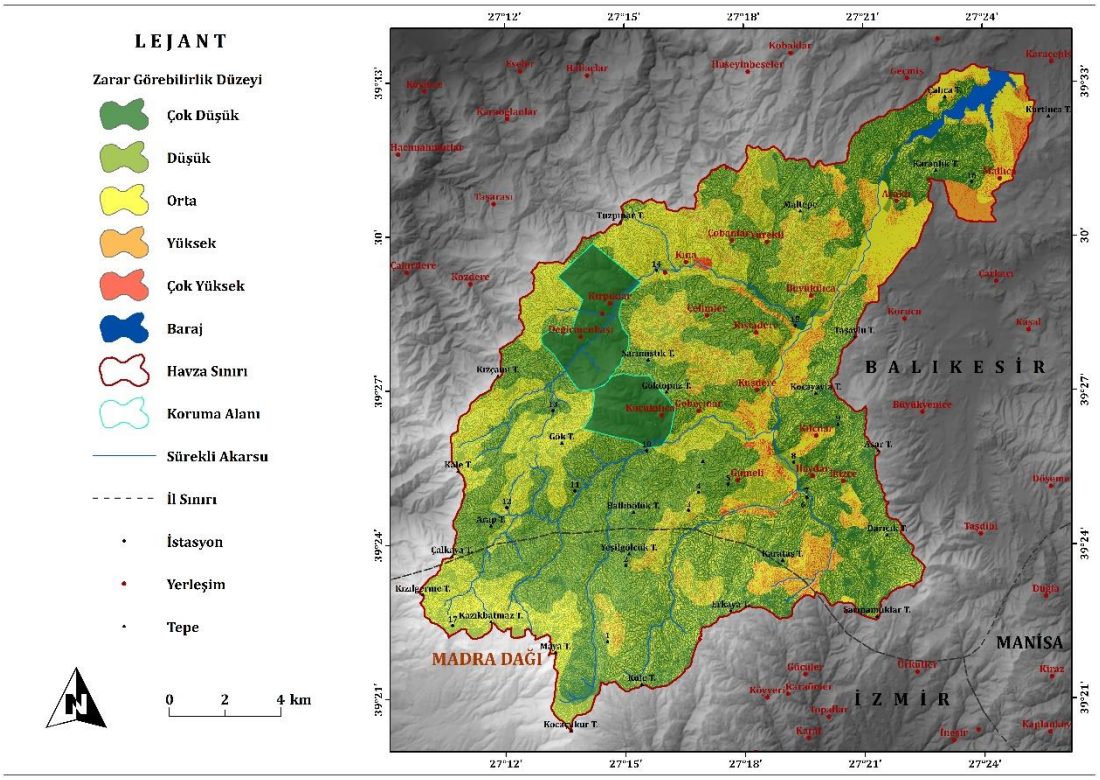
4.2.3. Baraj Havzasının Erozyon Kaynaklı Çevresel Zarar Görebilirlik Analizi ve Alansal Sentezi

Zarar görebilirlik analizinde kullanılan eğim uzunluğu ve eğim dikliği (LS), toprak erodibilitesi (K), arazi kullanımı (C) ve koruma uygulamaları (P) katmanları farklı değer aralıklarına sahip olduğundan, katmanların ortak bir ölçekte değerlendirilebilmesi amacıyla yeniden sınıflandırılmıştır. Bu kapsamda tüm parametreler 1–5 arasında standartlaştırılmış; 1 en düşük, 5 ise en yüksek duyarlılık düzeyini ifade edecek şekilde puanlandırılmıştır. Daha sonra raster katmanlar CBS ortamında çarpılarak havzanın erozyona bağlı zarar görebilirlik haritası elde edilmiştir (Şekil 78).

Harita incelendiğinde havzanın büyük bölümünde düşük ve orta düzey zarar görebilirlik sınıflarının yaygın olduğu görülmektedir. Buna karşılık yüksek ve çok yüksek zarar görebilirlik değerleri özellikle eğimin arttığı yamaç kesimlerinde ve

drenaj ağının yoğunlaştığı alanlarda kümelenmektedir. Bu durum topografik faktörlerin havzadaki zarar görebilirlik düzeyini önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir.

Değirmenbaşı ve Küçükılıca çevresinde gerçekleştirilen erozyon kontrol uygulamalarının bulunduğu alanlarda zarar görebilirlik düzeylerinin genel olarak daha düşük olduğu belirlenmiştir. Ayrıca baraj rezervuarını besleyen bazı üst havza kesimlerinde yüksek zarar görebilirlik alanlarının bulunması, bu bölgelerin sediment üretimi ve rezervuarın dolma süreci açısından öncelikli yönetim alanları olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 78. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın Erozyon Kaynaklı Zarar Görebilirlik Haritası

Kaynak: Orijinal

4.2.4. Farklı Metotlara Göre Rezervuar Kapasite Kaybı ve Baraj Ömrü Hesaplamaları

Ardıçtepe Barajı rezervuarının fonksiyonel ömrünün belirlenmesinde, hem doğrudan arazi ölçümlerine dayalı batimetrik rüsubat analizinden hem de havza genelini kapsayan ampirik (MPSIAC) ve parametrik (RUSLE) erozyon modellerinden

yararlanılmıştır. Üç farklı yöntemin sonuçlarının karşılaştırmalı olarak ele alınması, havzadaki flüviyal dinamiklerin ve sediment taşınım mekanizmalarının doğrulanması açısından bütüncül bir yaklaşım sunmuştur. Modellerden elde edilen teorik sediment verimleri ile batimetrik rüsubat analizinden elde edilen gerçek birikim değerlerinin konumsal ve niceliksel uyumu, uygulanan havza modellerinin sahadaki topoğrafik değişimleri tahmin etme kabiliyetini de kanıtlamaktadır.

4.2.4.1. Hacim Azalımı Temelli Yaklaşıma Göre Baraj Ömrü Analizi

Baraj rezervuarlarının ekonomik ve fiziksel ömürlerinin kestirimi, havza genelinde aktif olan erozyon süreçlerinin şiddeti ve bu süreçler neticesinde rezervuar taban morfolojisine ulaşan yıllık sediment yükü ile doğrudan ilişkilidir (Morris ve Fan, 1998). Bu kapsamda, Ardıçtepe Barajı'nın işletmeye alındığı 2016 yılına ait Devlet Su İşleri (DSİ) resmi verileri ile 2023 yılı güncel batimetrik ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır.

Yedi yıllık (2016-2023) işletme döneminde rezervuar genelinde gerçekleşen toplam rüsubat birikimi 0,51 hm^3 (510.000 m^3) olarak tespit edilmiş ve bu değer üzerinden baraj gölüne senede ortalama ulaşan sedimentasyon hızı şu şekilde hesaplanmıştır:

$$Yıllık\ Sediment\ Birikimi = \frac{Toplam\ Hacim\ Kaybı\ (m^3)}{Gözlem\ Süresi\ (yıl)} = \frac{510.000\ m^3}{7\ yıl}$$

$$= 72.857{,}14\ m^3/yıl$$

Elde edilen bu yıllık ortalama dolgu verisi, barajın sürdürülebilir işletimi ve yapısal ömrünün tahmini amacıyla literatürde yaygın olarak kullanılan Hacim Azalımı Temelli Yaklaşım formülüne (Morris ve Fan, 1998) entegre edilmiştir. Çalışmada baraj ömrü; literatürdeki "Teorik Aktif Hacim Yaklaşımı" ve sahanın hidro-jeomorfolojik gerçeklerini yansıtan "Fonksiyonel Ölü Hacim Yaklaşımı" olmak üzere iki farklı perspektiften ele alınmıştır:

Yaklaşım A: Teorik Aktif Hacim Tabanlı Baraj Ömrü Tahmini

Bu yaklaşımda, barajın toplam su depolama yeteneğini gösteren başlangıç aktif hacminin (23,45 hm^3 / 23.450.000 m^3) tamamen sedimentle dolacağı süre hesaplanmaktadır:

$$Teorik\ Baraj\ Ömrü\ (yıl) = \frac{Başlangıç\ Aktif\ Hacmi\ (m^3)}{Yıllık\ Sediment\ Birikimi\ (m^3/yıl)}$$

$$Teorik\ Baraj\ Ömrü = \frac{23.450.000\ m^3}{72.857{,}14\ m^3/yıl} = 321{,}86\ yıl$$

Yaklaşım B: Fonksiyonel Ölü Hacim Tabanlı Baraj Ömrü Tahmini

Baraj mühendisliği ve fiziki coğrafya prensipleri açısından, barajın fonksiyonel olarak işlevini yitirmesi aktif hacmin dolmasından ziyade, dip savak ve su alma yapılarını çevreleyen ölü hacmin (3,90 hm^3 / 3.900.000 m^3) dolmasıyla gerçekleşmektedir. Ölü hacmin sedimentle kaplanması durumunda baraj kapakları çalışamaz hale gelmekte ve yapı işlevsel ömrünü tamamlamaktadır:

$$Fonksiyonel\ Baraj\ Ömrü\ (yıl) = \frac{Mevcut\ Ölü\ Hacim\ (m^3)}{Yıllık\ Sediment\ Birikimi\ (m^3/yıl)}$$

$$Fonksiyonel\ Baraj\ Ömrü = \frac{3.900.000\ m^3}{72.857{,}14\ m^3/yıl} = 53{,}53\ yıl$$

Elde edilen ampirik bulgular, Ardıçtepe Barajı Havzası'ndaki topoğrafik değişimleri ve erozyon süreçlerinin şiddetini niceliksel olarak doğrulamaktadır. Literatürdeki standart formüller doğrultusunda hesaplanan 322 yıllık teorik ömre karşın, havza gerçekleri dikkate alınarak yapılan ölü hacim analizinin baraj fonksiyonel ömrünü 54 yıla indirmesi, sahada gelişen sedimantasyon baskısının boyutunu kanıtlamaktadır.

Yıllık ortalama 72.857,14 m^3 toprağın rezervuar tabanına taşınması, drenaj havzasını oluşturan yamaçlarda yüzeysel aşınma ve oluk erozyonunun son derece aktif olduğunu kanıtlamaktadır. Nitekim rüsubat analizi haritasında (Şekil) alansal olarak izlenen yoğun birikim alanları ve akarsu ağızlarında konumsal olarak gelişmeye başlayan "rezervuar deltaları", yamaçlardan süpürülen malzemenin hidrolik eğim kırılma noktalarında hızla çökeldiğini göstermektedir.

Ardıçtepe Barajı Havzası'nın yüksek eğim değerleri, bitki örtüsünden yoksun hassas yüzeyleri ve flüviyal aşındırma gücü, bu sedimantasyon hızını besleyen temel fiziki coğrafya faktörleridir. Sonuç olarak, barajın öngörülen ekonomik ömrünü (fonksiyonel ömür olan 54 yılı) sağlıklı bir şekilde tamamlayabilmesi, hatta bu sürenin uzatılabilmesi için; sediment taşınım koridorları olarak çalışan akarsu kolları üzerinde rüsubat tersip bentlerinin yapılması ve havza genelinde acilen alansal erozyon kontrol

önlemleri ile ağaçlandırma çalışmalarının hayata geçirilmesi jeomorfolojik bir zorunluluktur.

4.2.4.2. MPSIAC Sediment Verimi Modeline Göre Baraj Ömrü Analizi

MPSIAC yöntemiyle Ardıçtepe Barajı Havzası genelinde gerçekleştirilen alansal değerlendirmelerde ortalama sediment verimi 4,56 t/ha/yıl olarak hesaplanmıştır. Havzanın toplam alanı olan 25.370 ha ile bu ortalama değer çarpılarak, rezervuara ulaşan yıllık toplam sediment yükü 117.651 ton/yıl olarak bulunmuştur. Ancak, barajın ölü hacmi metreküp (m^3) cinsinden tescil edildiği için, kütle esaslı (ton) bu model verisinin hacim esaslı (m^3) bir birime dönüştürülmesi ve birimlerin eşitlenmesi gerekmektedir.

Bu dönüşüm sürecinde, yer bilimleri ve baraj sedimantasyonu çalışmalarında kütle ile hacim arasındaki ilişkiyi kuran temel kuramsal yoğunluk formülü esas alınmıştır:

$$Hacim\ (V) = \frac{Kütle\ (m)}{Kuru\ Hacim\ Ağırlığı\ (\rho_d)}$$

Rezervuar tabanında biriken rüsubatın zamanla sıkışma derecesini ve kuru hacim ağırlığını ifade eden P_d parametresi, uluslararası literatürde rezervuar ömür tahminlerinde yaygın olarak kabul gören ortalama 1,35 t/m^3 (gr/cm^3) değeri olarak belirlenmiştir (Morris ve Fan, 1998). Bu doğrultuda, MPSIAC modelinden elde edilen yıllık toplam sediment yükü ilgili formüle uygulanarak hacimsel karşılığı hesaplanmıştır:

$$Yıllık\ Sediment\ Hacmi\ (V) = \frac{117.651\,\frac{ton}{yıl}}{1{,}35\,\frac{t}{m^3}} = 87.148{,}89 m^3/yıl$$

Elde edilen bu yıllık hacimsel dolgu verisi, barajın işletmeye açıldığı andaki resmi ölü hacmine (3.900.000 m^3) oranlanarak, MPSIAC modeline dayalı fonksiyonel baraj ömrü projeksiyonu şu şekilde tamamlanmıştır:

$$Fonksiyonel\ Baraj\ Ömrü = \frac{Mevcut\ Ölü\ Hacim\ (m^3)}{Yıllık\ Sediment\ Hacmi\ (\frac{m^3}{yıl})} = \frac{3.900.000 m^3}{87.148{,}89 m^3/yıl}$$

$$= 44{,}75\ yıl$$

4.2.4.3. RUSLE Sediment Verimi Modeline Göre Baraj Ömrü Analizi

RUSLE modeliyle sahada ortalama toprak kaybı 2,88 t/ha/yıl hesaplanmış ve havza alanı genelinde toplam 74.102,4 ton/yıl yamaç erozyonu tespit edilmiştir. Havzadan süpürülen malzemenin rezervuara ulaşma oranı (SİO) 0,20 olarak sisteme entegre edildiğinde net sediment verimi 14.820,48 ton/yıl (10.978,13 m^3/yıl) olarak hesaplanmıştır. Modelin ömür projeksiyonu şu şekildedir:

$$Fonksiyonel\ Baraj\ Ömrü = \frac{Mevcut\ Ölü\ Hacim\ (m^3)}{Yıllık\ Sediment\ Hacmi\ (\frac{m^3}{yıl})} = \frac{3.900.000m^3}{10.978{,}13m^3/yıl}$$

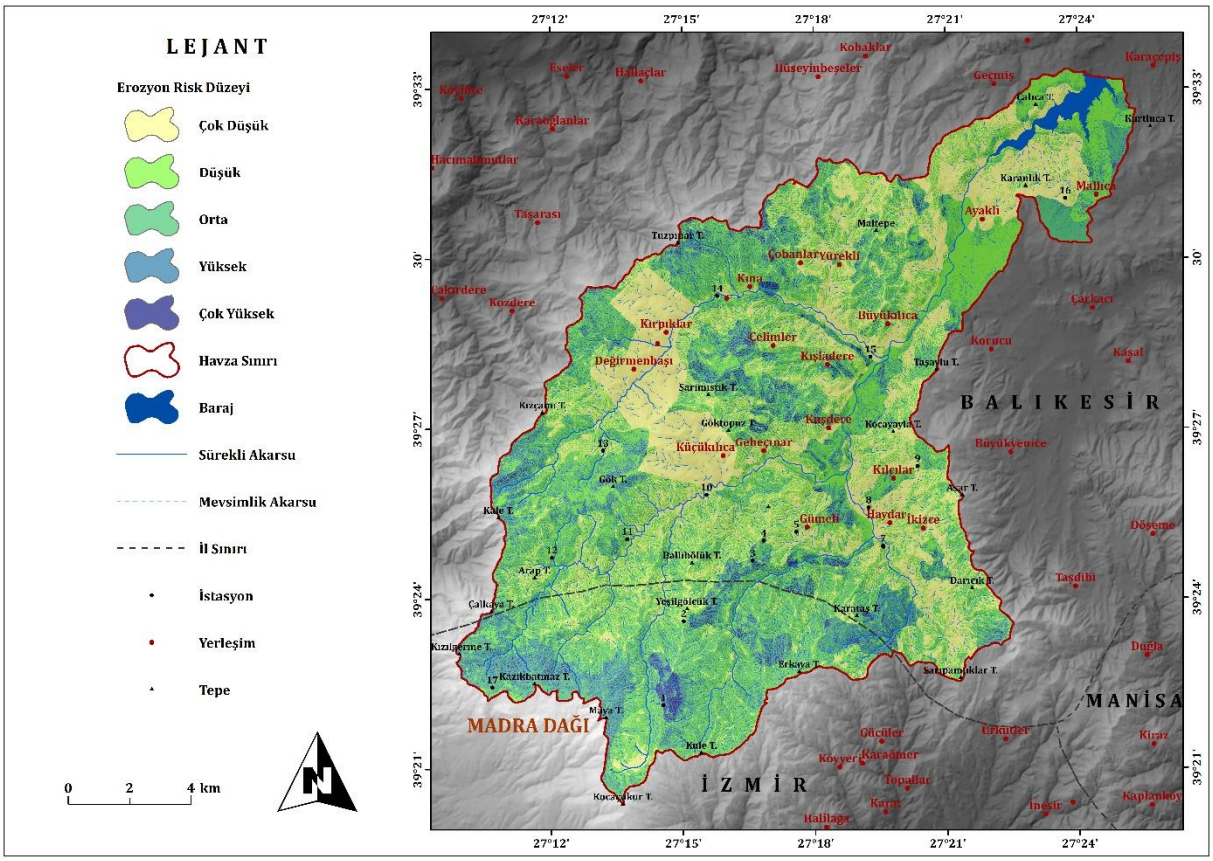
$$= 355{,}25\ yıl$$

4.3. Erozyon Risk Analizi

Erozyon riski, tehlike ve zarar görebilirlik bileşenlerinin birlikte değerlendirilmesiyle belirlenmiştir. Bu kapsamda RUSLE ve MPSIAC modellerinden elde edilen tehlike haritaları, zarar görebilirlik haritası ile çakıştırılarak iki farklı risk haritası üretilmiştir.

4.3.1. MPSIAC Tabanlı Risk Analizi

MPSIAC modeline dayalı erozyon risk haritası incelendiğinde (Şekil79), havza genelinde düşük ve orta risk sınıflarının baskın olduğu görülmektedir. Buna karşın yüksek ve çok yüksek risk alanları özellikle havzanın güneybatısındaki Madra Dağı çevresinde, güneydoğudaki yamaç kesimlerinde ve ana drenaj ağları boyunca yoğunlaşmaktadır. Risk düzeyinin alansal dağılışı, topoğrafik özellikler ile sediment üretim potansiyelinin birlikte etkisi altında şekillenmiştir. Özellikle yüksek eğimli yamaçlar ve akarsu sistemleri boyunca uzanan alanlarda risk düzeyinin arttığı belirlenmiştir. Bu durum, sediment üretiminin yanı sıra üretilen sedimentin drenaj ağı aracılığıyla taşınabilme potansiyelinin de yüksek olduğunu göstermektedir. Havza genelinde çok yüksek risk alanlarının sınırlı yayılış göstermesine rağmen, bu alanların akarsu ağları ile bağlantılı olması baraj rezervuarına ulaşabilecek sediment miktarı açısından önem taşımaktadır.



Şekil 79. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın MPSIAC Tabanlı Erozyon Risk Haritası

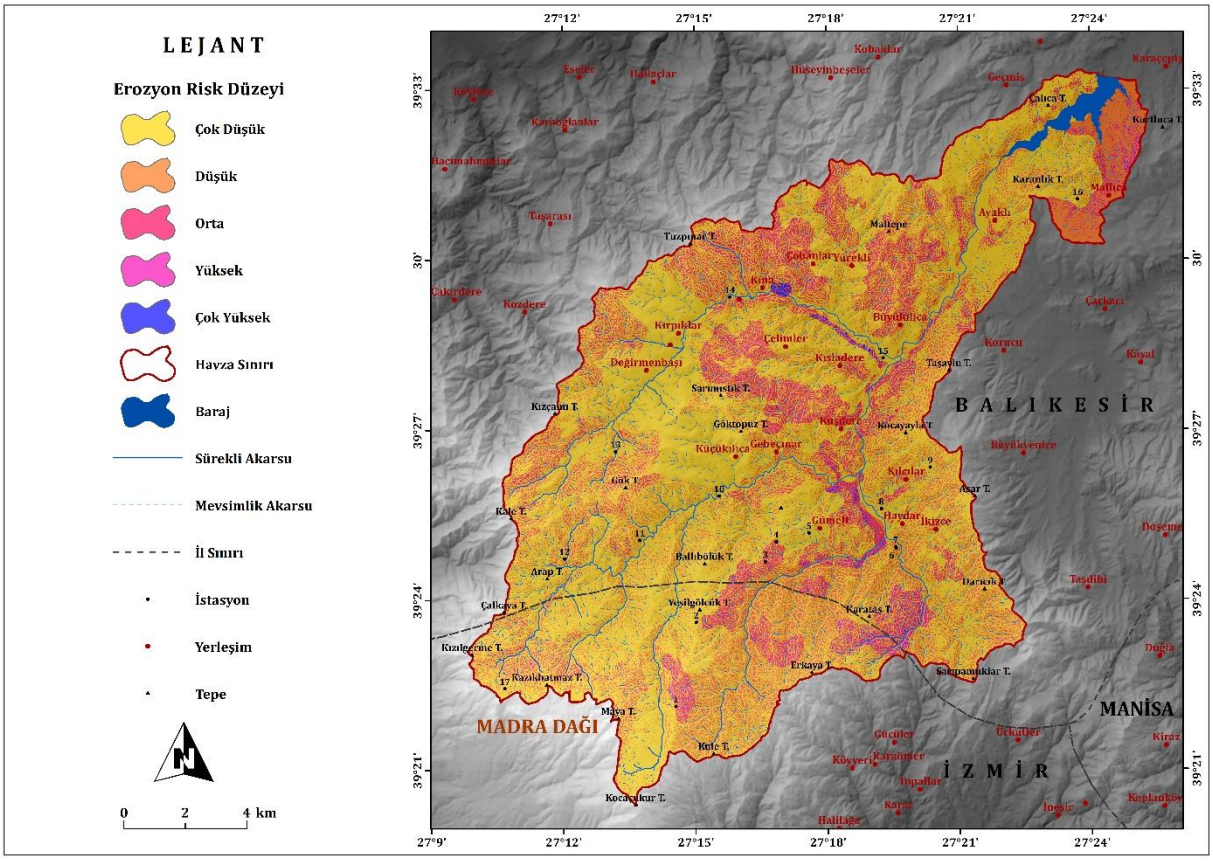
Kaynak: Orijinal

4.3.2. RUSLE Tabanlı Risk Analizi

RUSLE modeline dayalı risk haritası incelendiğinde (Şekil 80), havza genelinde düşük ve orta risk sınıflarının baskın olduğu görülmektedir. Buna karşılık yüksek ve çok yüksek risk alanları özellikle havzanın orta ve güneydoğu kesimlerinde yoğunlaşmaktadır. Risk düzeyinin alansal dağılışı, tehlike ve zarar bileşenlerinin birlikte değerlendirilmesi sonucunda ortaya çıkmıştır. Özellikle Gümeli, Haydar, Kılcılar ve çevresindeki alanlarda yüksek risk sınıflarının kümelendiği belirlenmiştir. Bunun yanında bazı yüksek risk alanlarının ana drenaj ağı ve yan kollar boyunca uzanması, erozyonla taşınan materyalin havza içerisinde hareket edebilme potansiyeline işaret etmektedir.

Havzanın kuzeydoğu kesimlerinde ve baraj rezervuarına yakın alanlarda da yer yer yüksek risk sınıfları gözlenmiştir. Bu durum, sediment üretiminin yanı sıra sedimentin taşınım süreçlerinin de dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Genel

olarak değerlendirildiğinde, RUSLE tabanlı risk haritası havza içerisinde riskli alanların geniş bir alansal dağılım gösterdiğini ortaya koymuştur. Elde edilen sonuçlar, erozyon kontrol önlemlerinin öncelikle yüksek ve çok yüksek risk sınıflarında yer alan alanlara yönlendirilmesinin uygun olacağını göstermektedir.



Şekil 80. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın RUSLE Tabanlı Erozyon Risk Haritası

Kaynak: Orijinal

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Ardıçtepe Barajı Havzası'nda gerçekleştirilen erozyon tehlikesi, zarar görebilirlik ve risk analizlerinden elde edilen temel bulgular bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan MPSIAC ve RUSLE modellerinden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış, arazi gözlemleri ile desteklenmiş ve havzanın erozyon dinamikleri açısından öne çıkan özellikleri ortaya konulmuştur. Ayrıca oluşturulan risk haritaları ve sediment verimine ilişkin değerlendirmeler doğrultusunda barajın sedimentasyon süreci ile tahmini işletme ömrüne yönelik çıkarımlar sunulmuştur.

5.1.1. MPSIAC ve RUSLE Modellerine Göre Erozyon Tehlikesinin Karşılaştırılması

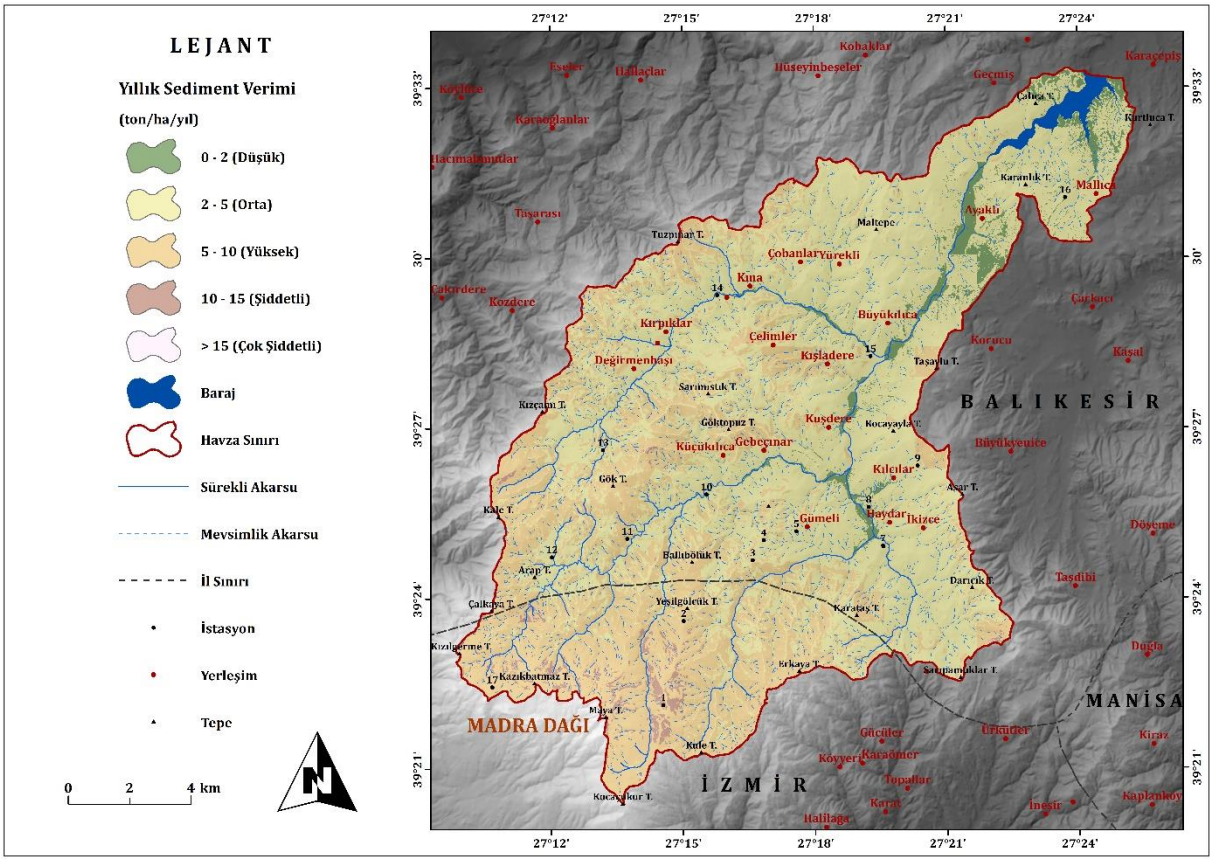
Bu bölümde, Ardıçtepe Barajı Havzası'nın erozyon tehlikesi MPSIAC ve RUSLE modelleri kullanılarak elde edilen sonuçlar doğrultusunda değerlendirilmiştir (Şekil 79 ve 80). Her iki modelden üretilen tehlike haritaları alansal dağılışları ve özellikleri bakımından karşılaştırılmış, arazi çalışmaları kapsamında gerçekleştirilen çubuk ölçümleri ile birlikte yorumlanmıştır. Ayrıca modellerden elde edilen sediment verimi sonuçları karşılaştırılarak havzadaki erozyon süreçlerine ilişkin genel bir değerlendirme yapılmıştır.

MPSIAC modeli kullanılarak elde edilen yıllık sediment verimi haritası incelendiğinde (Şekil 79), Ardıçtepe Barajı Havzası'nın büyük bir bölümünde sediment üretiminin düşük ve orta düzeylerde yoğunlaştığı görülmektedir. Özellikle havzanın orta kesimleri ile bitki örtüsünün daha iyi korunduğu alanlarda yıllık sediment veriminin 0–5 ton/ha/yıl aralığında olduğu belirlenmiştir. Bu durum, arazi

örtüsü ve topoğrafik özelliklerin erozyon süreçlerini sınırlandırıcı etkisine bağlanabilir.

Buna karşılık, havzanın güneybatısında Madra Dağı çevresindeki yüksek eğimli sahalar ile yer yer kuzeydoğu kesimlerinde sediment veriminin arttığı ve 5 ton/ha/yılın üzerine çıktığı alanlar bulunmaktadır. Bu bölgelerde eğim koşullarının yanı sıra litolojik özellikler ve yüzey akışının etkisiyle erozyon süreçlerinin daha etkin olduğu değerlendirilmektedir.

Haritada en yüksek sediment verimi değerlerinin ise havzanın yalnızca sınırlı bir bölümünde görüldüğü dikkat çekmektedir. Bu durum, MPSIAC modelinin erozyon tehlikesini yalnızca eğime bağlı olarak değil; jeolojik yapı, toprak özellikleri, arazi kullanımı, bitki örtüsü ve iklim gibi çok sayıda çevresel faktörü birlikte değerlendirmesinden kaynaklanmaktadır. Sonuç olarak model, havza genelinde sediment üretiminin alansal farklılıklarını dengeli bir biçimde yansıtmış ve kritik alanların belirlenmesine olanak sağlamıştır.

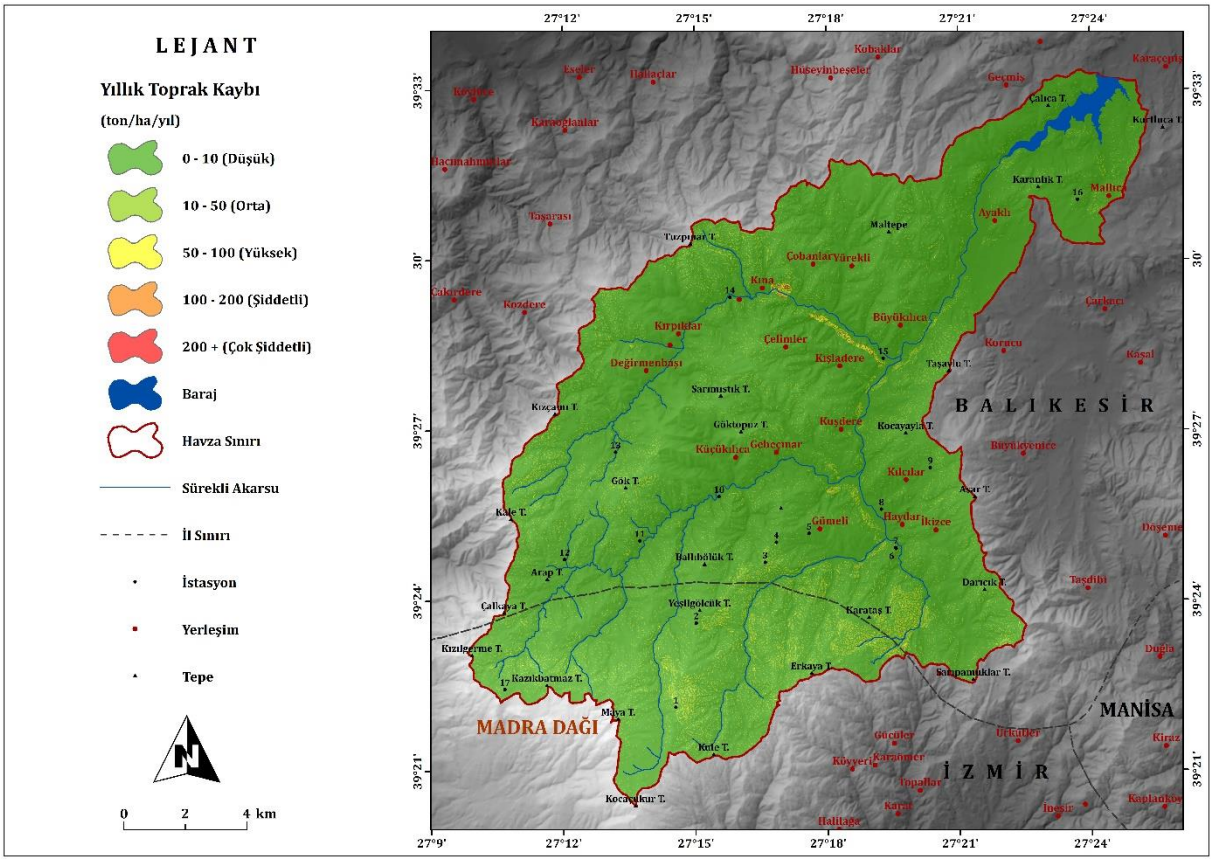


Şekil 81. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın MPSIAC Yöntemine Göre Yıllık Sediment Verimi Dağılışı

Kaynak: Orijinal

RUSLE modeli kullanılarak elde edilen yıllık toprak kaybı haritası incelendiğinde (Şekil 80), Ardıçtepe Barajı Havzası'nın büyük bölümünde düşük ve orta düzeyde toprak kaybının hâkim olduğu görülmektedir. Özellikle bitki örtüsünün nispeten iyi korunduğu ve eğimin düşük olduğu alanlarda yıllık toprak kaybı 0–50 ton/ha/yıl aralığında yoğunlaşmaktadır.

Buna karşılık, yüksek eğimli yamaçlar, akarsu vadilerinin çevresi ve topoğrafyanın belirgin şekilde engebeli olduğu kesimlerde toprak kaybı değerleri artış göstermektedir. Yer yer 100 ton/ha/yılın üzerine çıkan alanlar, eğim uzunluğu ve eğim dikliğinin etkisinin belirgin olduğu sahalar olarak öne çıkmaktadır. Bu durum, RUSLE modelinde özellikle LS faktörünün toprak kaybı üzerindeki güçlü etkisini yansıtmaktadır.



Şekil 82. Ardıçtepe Barajı Havzası'nın RUSLE Yöntemine Göre Yıllık Toprak Kaybı Dağılışı

Kaynak: Orijinal

Haritanın genel dağılımı değerlendirildiğinde, yüksek toprak kaybı potansiyeline sahip alanların havza geneline yayılmaktan ziyade belirli topoğrafik birimlerde kümelendiği görülmektedir. Sonuç olarak RUSLE modeli, topoğrafik koşullara duyarlı yapısı sayesinde erozyonun alansal değişimini ayrıntılı biçimde

ortaya koymuş ve havza içerisinde öncelikli müdahale gerektiren alanların belirlenmesine katkı sağlamıştır.

Tablo 52 incelendiğinde, MPSIAC ve RUSLE modellerinin erozyon tehlikesinin alansal dağılımı konusunda belirgin farklılıklar ortaya koyduğu görülmektedir. MPSIAC modelinde havzanın en büyük bölümünü %33,73 ile düşük tehlike sınıfı oluştururken, bunu %25,85 ile çok düşük ve %23,73 ile orta tehlike sınıfları izlemektedir. Ayrıca havzanın %12,52'si yüksek ve %4,17'si çok yüksek tehlike sınıfında yer almaktadır. Bu durum, MPSIAC modelinin havza içerisindeki riskli alanları daha geniş bir dağılım içinde değerlendirdiğini göstermektedir.

Buna karşılık RUSLE modelinde havzanın %58,42'si çok düşük ve %38,96'sı düşük tehlike sınıfında yer almakta olup, toplamda çalışma alanının yaklaşık %97'si düşük veya çok düşük tehlike kategorisinde sınıflandırılmıştır. Orta (%2,39), yüksek (%0,22) ve çok yüksek (%0,02) tehlike sınıflarının kapladığı alan oldukça sınırlıdır.

İki model birlikte değerlendirildiğinde, RUSLE modelinin çalışma alanında daha korumacı (düşük tehlikeye ağırlık veren) bir dağılım ortaya koyduğu, MPSIAC modelinin ise havza içerisindeki değişkenliği daha ayrıntılı yansıtarak orta ve yüksek tehlike sınıflarını daha geniş alanlarda tanımladığı söylenebilir. Bu farklılığın temelinde, RUSLE'nin esas olarak yüzeysel toprak kaybını tahmin eden ampirik bir model olması; MPSIAC'ın ise jeoloji, iklim, akış özellikleri, bitki örtüsü ve arazi kullanımı gibi çok sayıda parametreyi birlikte değerlendiren bütüncül bir yaklaşım benimsemesi yer almaktadır.

Bu bulgular, aynı havzada farklı model yaklaşımlarının erozyon tehlikesinin alansal dağılımına ilişkin farklı değerlendirmeler ortaya koyabileceğini ve model seçiminin elde edilen sonuçlar üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

Genel olarak MPSIAC ve RUSLE modelleri havzadaki erozyon tehlikesinin alansal dağılımı konusunda benzer eğilimler ortaya koymuştur. Çubuk gözlemleri yerel ölçekte elde edilen bulgular sunarken, CBS tabanlı model sonuçları havzanın tamamına ilişkin kapsamlı bir değerlendirme sağlamıştır. Bu nedenle her iki yaklaşımın birlikte kullanılması, erozyon süreçlerinin daha güvenilir biçimde yorumlanmasına katkıda bulunmuştur.

Tablo 52. Ardıçtepe Barajı Havzası'nda MPSIAC ve RUSLE Modellerine Göre Erozyon Tehlike Sınıflarının Alansal Dağılımı

	MPSIAC		RUSLE	
Sınıf	**Alan (ha)**	**Oran (%)**	**Alan (ha)**	**Oran (%)**
Çok Düşük	6.563,04	25,85	14.954,11	58,42
Düşük	8.564,64	33,73	9.972,98	38,96
Orta	6.233,13	23,73	611,40	2,39
Yüksek	3.178,15	12,52	55,93	0,22
Çok Yüksek	1.059,51	4,17	4,05	0,02
Toplam	25.598,47	100,00	25.598,47	100,00

Kaynak: Orijinal

Arazi çalışmaları kapsamında farklı jeomorfolojik özelliklere sahip sekiz noktaya yerleştirilen erozyon çubukları yaklaşık bir buçuk yıllık gözlem süresi sonunda yeniden incelenmiştir. Gözlemler sonucunda bazı noktalarda sınırlı düzeyde aşınma (örneğin 3–4 cm), bir noktada ise yaklaşık 1 cm birikme belirlenirken, bazı noktalarda ise belirgin bir değişim gözlenmemiş veya çubuklara ulaşılamamıştır. Bu bulgular, çalışma alanında erozyon süreçlerinin alansal olarak değişkenlik gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Çubuk yöntemiyle elde edilen veriler, noktasal ve sınırlı sayıdaki gözlemlere dayandığından tüm havzayı temsil edecek nitelikte değildir. Buna karşılık MPSIAC ve RUSLE modelleri, çok sayıda çevresel parametreyi CBS ortamında bütünleştirerek havzanın tamamına ilişkin alansal bir değerlendirme sunmaktadır. Bu nedenle arazi gözlemleri, modellerin birebir sayısal doğrulamasından ziyade genel eğilimlerinin değerlendirilmesinde destekleyici bir veri kaynağı olarak ele alınmalıdır. Çubuk gözlemlerinde aşınmanın tespit edildiği alanların model sonuçlarında tamamen risksiz bölgeler olarak öne çıkmaması ve bazı noktalarda düşük düzeyli erozyon işaretlerinin bulunması, modellerin sahadaki süreçlerle belirli ölçüde uyumlu olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, gözlem noktalarının azlığı, ölçüm süresinin sınırlı olması ve yerel koşulların etkisi nedeniyle bu sonuçların tüm havzaya genellenmesi uygun değildir. Dolayısıyla erozyon çubuklarından elde edilen veriler, MPSIAC ve RUSLE modellerinin kesin doğrulamasını sağlayan bağımsız bir veri seti olarak değil,

model çıktılarının sahadaki genel eğilimlerle karşılaştırılmasına olanak tanıyan yardımcı gözlemler olarak değerlendirilmiştir.

MPSIAC ve RUSLE modellerinden elde edilen yıllık sediment verimi değerleri karşılaştırıldığında (Tablo 53), iki model arasında belirgin bir farklılık olduğu görülmektedir. MPSIAC modeli havza için yıllık 117.651 ton sediment verimi öngörürken, SİO uygulanmış RUSLE sonuçlarına göre yıllık sediment verimi 14.820,48 ton olarak hesaplanmıştır. Buna göre MPSIAC tahmini, RUSLE tahmininin yaklaşık 8 katı düzeyindedir.

Bu farklılık, modellerin hesaplama yaklaşımlarındaki temel ayrımlardan kaynaklanmaktadır. MPSIAC modeli jeolojik yapı, toprak özellikleri, topoğrafya, iklim, arazi kullanımı ve yüzey süreçleri gibi çok sayıda faktörü birlikte değerlendirerek sediment üretimini tahmin ederken; RUSLE esas olarak yüzeysel toprak kaybını hesaplayan ampirik bir modeldir ve sediment verimine ulaşılabilmesi için ayrıca SİO uygulanması gerekmektedir. Bu nedenle iki modelin mutlak değerler açısından farklı sonuçlar üretmesi beklenen bir durumdur.

Arazi gözlemleri ve alansal analizler birlikte değerlendirildiğinde, her iki model de havzada erozyonun alansal olarak heterojen bir dağılım sergilediğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte MPSIAC modeli daha yüksek sediment verimi tahmin ederken, RUSLE modeli aynı havza için daha düşük sediment verimi değerleri üretmiştir.

Tablo 53. Ardıçtepe Barajı Havzası'nda MPSIAC ve RUSLE Modellerine Göre Tahmin Edilen Yıllık Sediment Veriminin Karşılaştırılması

Model	Yıllık Sediment Verimi (ton/yıl)	Açıklama
MPSIAC	117.651,00	Model çıktısı
RUSLE	14.820,48	SİO uygulanmış sonuç

Kaynak: Orijinal

5.1.2. MPSIAC ve RUSLE Tabanlı Erozyon Riskinin Karşılaştırılması

Bu bölümde, MPSIAC ve RUSLE modelleri kullanılarak oluşturulan erozyon risk haritaları alansal dağılımları açısından karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda

modellerin ortak ve farklı yönleri ortaya konularak, havza içerisinde öncelikli müdahale gerektiren alanların belirlenmesine yönelik değerlendirmeler yapılmıştır.

Erozyon risk sınıflarının alansal dağılımı incelendiğinde (Tablo 54), MPSIAC ve RUSLE modellerinin havza genelinde benzer alansal eğilimler göstermekle birlikte risk düzeylerinin yayılımı açısından belirgin farklılıklar ortaya koyduğu görülmektedir. MPSIAC modeline göre çalışma alanının %29,65'i çok düşük, %34,16'sı düşük ve %26,19'u orta risk sınıfında yer alırken, yüksek ve çok yüksek risk sınıfları sırasıyla %8,56 ve %1,43'lük bir alanı kapsamaktadır. Buna karşılık RUSLE modelinde çok düşük risk sınıfı %63,85 ile baskın durumdadır. Düşük risk sınıfı %25,23, orta risk sınıfı %9,00, yüksek risk sınıfı %1,68 ve çok yüksek risk sınıfı ise yalnızca %0,24 oranında alan kaplamaktadır. Bu sonuçlar, RUSLE modelinin havzanın büyük bölümünü düşük risk kategorilerinde değerlendirirken, MPSIAC modelinin orta ve yüksek riskli alanları daha geniş bir alansal dağılım içerisinde tanımladığını göstermektedir.

Bununla birlikte, iki modelin ortak olarak ortaya koyduğu önemli bir bulgu, yüksek riskli alanların havzanın tamamına homojen dağılmadığı, belirli topoğrafik ve çevresel koşullar altında kümelendiğidir. Özellikle eğimin arttığı, yüzey akışının yoğunlaştığı ve bitki örtüsünün görece zayıf olduğu kesimlerde her iki model de risk düzeyinin yükseldiğini işaret etmektedir. Bu durum, farklı model yaklaşımlarına rağmen bazı kritik bölgelerin tutarlı biçimde öne çıktığını göstermekte ve bu alanların erozyon kontrolü açısından öncelikli müdahale bölgeleri olarak değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Havza yönetimi açısından değerlendirildiğinde, her iki model tarafından ortak biçimde riskli olarak belirlenen alanlarda uygulanacak koruma önlemlerinin sediment üretiminin azaltılmasına önemli katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Bu kapsamda bitkilendirme ve ağaçlandırma çalışmaları, teraslama uygulamaları, yüzey akışını düzenleyici mühendislik önlemleri ile uygun arazi kullanım planlamalarının özellikle bu bölgelerde önceliklendirilmesi önerilmektedir. Bu tür uygulamalar yalnızca toprak kaybını azaltmakla kalmayacak, aynı zamanda Ardıçtepe Barajı'na taşınan sediment miktarını düşürerek rezervuarın depolama kapasitesinin korunmasına ve ekonomik ömrünün uzatılmasına da katkı sağlayacaktır.

Sonuç olarak, MPSIAC ve RUSLE modelleri farklı büyüklüklerde risk dağılımları üretmiş olsa da ortak risk bölgelerinin belirlenmesi havza bazlı koruma stratejilerinin geliştirilmesi açısından güçlü bir karar destek mekanizması sunmaktadır. Özellikle her iki modelin de dikkat çektiği alanlarda uygulanacak koruma projeleri, sınırlı kaynakların daha etkin kullanılmasını sağlayarak erozyonla mücadele çalışmalarının başarısını artırabilir.

Tablo 54. Ardıçtepe Barajı Havzası'nda MPSIAC ve RUSLE Tabanlı Erozyon Risk Sınıflarının Alansal Dağılımı

	MPSIAC		RUSLE	
Risk Sınıfı	**Alan (ha)**	**Oran (%)**	**Alan (ha)**	**Oran (%)**
Çok Düşük	7.518,16	29,65	16.186,83	63,85
Düşük	8.662,75	34,16	6.396,15	25,23
Orta	6.641,95	26,19	2.284,55	9,00
Yüksek	2.171,55	8,56	427,14	1,68
Çok Yüksek	361,89	1,43	61,63	0,24
Toplam	25.356,30	100,00	25.356,30	100,00

Kaynak: Orijinal

5.1.3. Ardıçtepe Barajı'nın Sedimentasyon Süreci ve Tahmini İşletme Ömrünün Değerlendirilmesi

Tablo 55 incelendiğinde, batimetrik ölçümlere dayalı rüsubat analizine göre Ardıçtepe Barajı'nın tahmini fonksiyonel ömrünün 54 yıl olduğu görülmektedir. Aynı parametre MPSIAC modeli kullanılarak hesaplandığında baraj ömrü 45 yıl olarak tahmin edilmiş olup, bu değer saha gözlemlerine dayanan batimetrik analiz sonucuna oldukça yakın bir projeksiyon sunmaktadır. Buna karşılık RUSLE modeli ve SİO yaklaşımı kullanılarak yapılan hesaplamalarda tahmini fonksiyonel ömür 355 yıl olarak belirlenmiştir.

MPSIAC modelinin batimetrik analiz sonuçlarına daha yakın tahminler üretmesi, modelin yalnızca yüzeysel toprak kaybını değil; jeolojik özellikler, toprak karakteristikleri, topoğrafya, iklim, arazi kullanımı ve drenaj sistemi gibi sediment

üretimini etkileyen çok sayıda faktörü birlikte değerlendirmesinden kaynaklanmaktadır. Bu bütüncül yaklaşım, havzada gerçekleşen sediment oluşumu ve taşınım süreçlerinin daha kapsamlı temsil edilmesine olanak sağlamaktadır.

Buna karşın RUSLE modeli esas olarak yamaçlardaki yüzey erozyonunu tahmin etmeye yönelik geliştirilmiş ampirik bir modeldir. Model, kanal aşındırması, kütle hareketleri ve havza içerisindeki diğer sediment kaynaklarını doğrudan dikkate almadığından, özellikle karmaşık jeomorfolojik özelliklere sahip havzalarda toplam sediment verimini olduğundan düşük tahmin edebilmektedir. Bu durum, Ardıçtepe Barajı Havzası'nda hesaplanan sediment miktarının ve buna bağlı olarak öngörülen baraj ömrünün batimetrik analiz sonuçlarından önemli ölçüde farklılaşmasına neden olmuştur.

Tablo 55. Uygulanan Yöntemlere Göre Yıllık Sediment Taşınımı ve Öngörülen Baraj Ömürlerinin Karşılaştırılması

Uygulanan Yöntem / Model	Yıllık Sediment Dağılımı (m^3/yıl)	Rezervuar Ölü Hacmi (m^3)	Öngörülen Fonksiyonel Ömür (Yıl)
Batimetrik Rüsubat Analizi (Gerçek Veri)	72.857,14	3.900.000	54
MPSIAC Modellemesi	87.148,89	3.900.000	45
RUSLE Modellemesi (+SİO)	10.978,13	3.900.000	355

Kaynak: Orijinal

Elde edilen bulgular birlikte değerlendirildiğinde, Ardıçtepe Barajı Havzası özelinde MPSIAC modelinin batimetrik verilere daha yakın sonuçlar ürettiği ve saha koşullarını temsil etme açısından daha yüksek bir uyum sergilediği görülmektedir. Bununla birlikte, her iki model de havzadaki erozyon süreçlerinin anlaşılması açısından değerli bilgiler sunmakta olup, model seçiminde çalışma amacının, havzanın fiziksel özelliklerinin ve kullanılabilir veri altyapısının dikkate alınması önem taşımaktadır.

Sonuç olarak, batimetrik analiz ve MPSIAC modelinden elde edilen yaklaşık 45–54 yıllık tahmini fonksiyonel ömür (mevcut sedimantasyon hızının değişmeden

devam ettiği varsayımı altında), Ardıçtepe Barajı'nda sediment birikiminin uzun vadede önemli kapasite kayıplarına yol açabileceğini göstermektedir. Bu nedenle havza genelinde uygulanacak erozyon kontrolü, arazi kullanım planlaması ve toprak koruma önlemleri yalnızca sediment taşınımını azaltmakla kalmayacak, aynı zamanda rezervuarın ekonomik ve işlevsel ömrünün uzatılmasına da katkı sağlayacaktır.

5.1.4. Ardıçtepe Barajı Havzası Bulgularının Madra Barajı Havzası Çalışması ile Karşılaştırılması

Ardıçtepe Barajı Havzası'nda elde edilen bulguların değerlendirilmesi amacıyla, çalışma alanına coğrafi açıdan yakın konumda bulunan Madra Barajı Havzası üzerine gerçekleştirilen MPSIAC temelli doktora çalışması ile karşılaştırma yapılmıştır. Madra Barajı Havzası'nın tercih edilmesinin bir diğer önemli nedeni, Türkiye'de MPSIAC yönteminin uygulanmasına yönelik doğrudan karşılaştırılabilir doktora düzeyindeki çalışmalardan biri olmasıdır. Ayrıca iki havzanın birbirine yakın coğrafi konumda bulunması, benzer bölgesel iklim ve jeomorfolojik koşullar altında MPSIAC sonuçlarının karşılaştırılmasına olanak sağlamaktadır. Bununla birlikte, havzaların litolojik, topoğrafik, toprak, arazi örtüsü ve kullanım özelliklerindeki farklılıkların erozyon sonuçlarına yansıyabileceği dikkate alınmalıdır.

Madra Barajı Havzası'nda MPSIAC yöntemiyle havzanın yıllık ortalama toprak kaybı 22,5 t/ha/yıl olarak hesaplanmış ve havzanın genel olarak orta şiddette erozyon grubunda bulunduğu belirtilmiştir. En yüksek erozyon sınıfını oluşturan 43 t/ha üzerindeki alanlar havzanın %4,16'sını (1.698 ha), yüksek erozyon sınıfı ise %17,44'ünü (7.120 ha) oluşturmaktadır. Buna karşılık Ardıçtepe Barajı Havzası'nda MPSIAC modeli ile hesaplanan yıllık toplam sediment verimi 117.651 ton/yıl olup, model sonuçları havza genelinde yaklaşık 4,60 t/ha/yıl ortalama sediment üretimine karşılık gelmektedir. Ardıçtepe Havzası'nda çok yüksek tehlike sınıfı çalışma alanının %4,17'sini, yüksek tehlike sınıfı ise %12,52'sini oluşturmaktadır.

Bu sonuçlar, MPSIAC tarafından tahmin edilen ortalama sediment üretiminin Madra Barajı Havzası'nda Ardıçtepe Barajı Havzası'na göre belirgin biçimde daha yüksek olduğunu göstermektedir. Madra Barajı Havzası için bildirilen 22,5 t/ha/yıl değerinin Ardıçtepe Havzası için hesaplanan yaklaşık 4,60 t/ha/yıl değerinin yaklaşık 4,9 katı olması, iki havzanın erozyon ve sediment üretim potansiyellerinin aynı

düzeyde olmadığını ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, bu farklılığın yalnızca havzaların coğrafi konumuyla açıklanması mümkün değildir. Litolojik yapı, kayaçların ayrışma özellikleri, toprak erodibilitesi, eğim, yağış erozivitesi, yüzey kapalılığı, arazi kullanımı ve drenaj özellikleri gibi MPSIAC modeline dahil edilen parametrelerdeki farklılıkların sonuç üzerinde birlikte etkili olduğu düşünülmektedir.

İki çalışma arasındaki önemli yöntemsel farklılıklardan biri, arazi ölçümlerinin niteliğidir. Madra Barajı Havzası'nda gerçekleştirilen çalışmada MPSIAC yöntemi kapsamında çeşitli arazi ve laboratuvar verilerinden yararlanılmış; ancak yüzeysel toprak kaybının doğrudan ve zamansal olarak izlenmesine yönelik erozyon çubuğu ölçümlerine yer verilmemiştir. Buna karşılık, Ardıçtepe Barajı Havzası'nda model sonuçlarını desteklemek amacıyla araziye erozyon çubukları yerleştirilmiş ve yüzeysel toprak kaybındaki değişimler arazi gözlemleriyle izlenmiştir. Bu yönüyle mevcut çalışma, MPSIAC model sonuçlarının doğrudan arazi ölçümleriyle desteklenmesi bakımından Madra Barajı Havzası çalışmasından ayrılmaktadır.

İki çalışma arasındaki bir diğer önemli farklılık, erozyonun değerlendirilme kapsamıdır. Madra Barajı Havzası çalışmasında MPSIAC ve RUSLE yöntemleri temelinde toprak erozyonunun alansal dağılımı ve sediment üretimi değerlendirilirken, Ardıçtepe Barajı Havzası'nda erozyon tehlikesinin yanı sıra zarar görebilirlik ve risk boyutları da analize dahil edilmiştir. Bu kapsamda mevcut çalışma, MPSIAC modelinin yalnızca sediment üretimi veya erozyon tehlikesinin belirlenmesinde kullanımının ötesine geçerek, erozyon tehlikesinin oluşturabileceği etkilerin de değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Bu durum, Ardıçtepe Barajı Havzası çalışmasının önceki MPSIAC uygulamasından ayrılan temel yönlerinden birini oluşturmaktadır.

Barajların sedimentasyon süreçleri açısından değerlendirildiğinde, Madra Barajı Havzası çalışmasında MPSIAC yöntemiyle barajın yaklaşık 80 yıllık bir ömre sahip olacağı öngörülmüştür. Ardıçtepe Barajı Havzası'nda ise MPSIAC modeline dayalı tahmini fonksiyonel ömür 45 yıl olarak hesaplanmış ve bu değer 54 yıllık batimetrik rüsubat analizine dayalı gerçek veriye yakın bulunmuştur. RUSLE ve SİO yaklaşımında ise tahmini fonksiyonel ömür 355 yıl olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar, MPSIAC modelinin her iki baraj havzasında da sediment üretiminin ve buna bağlı rezervuar sedimentasyonunun değerlendirilmesinde kullanılabilir olduğunu, ancak

model çıktılarının havzaların fiziksel özellikleri ve mevcut veri altyapısı çerçevesinde değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

5.2. Öneriler

- Ardıçtepe Barajı Havzası'nda erozyonla mücadele çalışmalarının planlanmasında, yalnızca tek bir modelin sonuçlarına bağlı kalınmamalı; farklı yöntemlerden elde edilen bulgular birlikte değerlendirilerek karar verme süreçleri desteklenmelidir.
- Bu çalışma kapsamında MPSIAC modelinin batimetrik verilere daha yakın sonuçlar üretmesi nedeniyle, özellikle sediment verimi ve rezervuar ömrüne yönelik planlamalarda MPSIAC tabanlı yaklaşımların kullanılması önerilmektedir.
- MPSIAC ve RUSLE modellerinin ortak olarak yüksek riskli gösterdiği alanlar öncelikli müdahale bölgeleri olarak ele alınmalı; bu alanlarda erozyon kontrol uygulamalarına öncelik verilmelidir.
- Havza genelinde eğimin yüksek olduğu, bitki örtüsünün zayıfladığı ve yüzey akışının yoğunlaştığı kesimlerde ağaçlandırma, doğal bitki örtüsünün iyileştirilmesi ve koruyucu vejetasyon uygulamaları yaygınlaştırılmalıdır.
- Tarımsal faaliyetlerin sürdürüldüğü eğimli arazilerde kontur sürüm, teraslama, örtü bitkisi kullanımı ve koruyucu toprak işleme teknikleri teşvik edilerek yüzey akışı ve toprak kaybı azaltılmalıdır.
- Dere yatakları ve yan kollar boyunca akarsu kenarı tampon bölgeleri oluşturulmalı, bu alanlarda doğal bitki örtüsü korunmalı ve güçlendirilmelidir. Böylece yüzey akışı yavaşlatılarak sediment taşınımı ve kıyı erozyonu azaltılabilir.
- Havzada sürdürülebilir arazi kullanım planlaması benimsenmeli; yüksek erozyon riski taşıyan alanlarda arazi kullanım kararları erozyon duyarlılığı dikkate alınarak yeniden değerlendirilmelidir.
- Baraj rezervuarında belirli aralıklarla batimetrik ölçümler tekrarlanmalı ve sediment birikim miktarındaki değişimler düzenli olarak izlenmelidir. Böylece model sonuçları güncellenebilir ve yönetim kararlarının doğruluğu artırılabilir.

- CBS ve uzaktan algılama teknikleri kullanılarak havza genelinde periyodik erozyon izleme çalışmaları yürütülmeli, zamansal değişimler düzenli olarak değerlendirilmelidir.
- İklim değişikliğinin yağış rejimi ve ekstrem olaylar üzerindeki olası etkileri dikkate alınarak geleceğe yönelik erozyon ve sediment taşınım senaryoları oluşturulmalı ve havza yönetim planlarına entegre edilmelidir.
- Yerel yönetimler ve ilgili kurumlar arasında koordinasyonu sağlayacak bütüncül bir havza yönetim yaklaşımı benimsenmeli; erozyon kontrolü, su kaynaklarının korunması ve rezervuarların sürdürülebilir işletilmesi birlikte ele alınmalıdır.
- Gelecekte yapılacak çalışmalarda, farklı sediment iletim oranı (SİO) yaklaşımlarının, süreç tabanlı modellerin ve daha yoğun arazi gözlemlerinin kullanılması, model performanslarının karşılaştırılmasına ve belirsizliklerin azaltılmasına katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

Admassu, Y. (2018). *Alteration.* In P. Bobrowsky and B. Marker (Eds.), Encyclopedia of Engineering Geology (pp. 21–22). Springer.

Akyol, İ. H. (1947). Türkiye'de akarsu sistemleri ve rejimleri. *Türk Coğrafya Dergisi,* Sayı: 9-10, ss. 1 - 32.

Akyürek, B. (1968). *Balıkesir – Balya kuzeyinin jeolojisi*. Balıkesir: MTA Ens. Balıkesir Bölge Müdürlüğü Arşivi Rapor No: 495.

Akyürek, B. ve Soysal, Y. (1978). *Kırkağaç-Soma (Manisa), Savaştepe-Korucu-Ayvalık (Balıkesir), Bergama (İzmir) civarının jeolojisi.* M.T.A. Raporu, Ankara.

Akyürek, B., (1989). *1:100.000 ölçekli açınsama nitelikli Türkiye jeoloji haritaları serisi*, M.T.A. Genel Müdürlüğü, Ankara.

Ardel, A. (1960). Marmara Bölgesi'nin yapı ve röliyefi. *Türk Coğrafya Dergisi*, Sayı: 20, ss. 2 - 4.

Ardel, A. (1965). Anadolu Havzaları'nın teşekkül ve tekamülü. *İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Dergisi,* Sayı: 15, Cilt: 8, ss. 61 – 63.

Ardos, M. (1985). *Türkiye ovalarının jeomorfolojisi II.* İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yay. No: 3215, İstanbul.

Atalay, İ. (1982). *Türkiye jeomorfolojisine giriş.* Ege Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yay. No: 9, İzmir.

Atalay, İ. (1994). *Türkiye vejetasyon coğrafyası*, E.Ü. Basımevi, ISBN:975 85527 8 7, İzmir.

Atalay, İ. (2018). *Uygulamalı hidrografya*. META Basım, İzmir.

Atalay, İ. ve Cürebal, İ. (2018). *Türkiye'de erozyonu önleme ve erozyon miktarını belirlemeye yönelik çalışmalar.* Atalay, İ., Uygulamalı Hidrografya içinde, META Basım Matbaacılık Hizmetleri, İzmir.

Avcı, V. (2016). Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ile Gökdere Havzası ve çevresinin (Bingöl) erozyon duyarlılık analizi. *The Journal of Academic Social Science,* Yıl: 4, Sayı: 26, S: 170-193.

Baulig, H. (1939). *Sur les gradins de piémont.* Annales de Géographie, 48(273), 225–259.

Best, M. G. (2003). *Igneous and metamorphic petrology* (2nd ed.). Oxford: Blackwell Publishing.

Beven, K. J. and Kirkby, M. J. (1979). A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrological Sciences Journal*, 24(1), 43–69.

Boggs, G., C. Devonport, K. Evans and P. Puig. (2001). *GIS-based rapid assessment of erosion risk in a small catchment in the wet/dry tropics of Australia.* Land Degradation and Development, 12:417-434.

Bingöl, E. (1976). Batı Anadolu'nun jeotektonik evrimi. *MTA Enst. Dergisi,* Sayı: 86, ss. 26 – 29. Ankara.

Birkmann, J. (Ed.). (2006). *Measuring vulnerability to natural hazards: Towards disaster resilient societies.* United Nations University Press.

Blatt, H., Tracy, R. J. and Owens, B. E. (2006). *Petrology: igneous, sedimentary, and metamorphic* (3rd ed.). W.H. Freeman and Company.

Bonham, C. D. (2013). *Measurements for terrestrial vegetation* (2nd ed.). Wiley-Blackwell.

Brady, N.C. and Weil, R.R. (2017). *The nature and properties of soils (15th ed.).* Pearson Education.

Brandolini, P., Cevasco, A., Firpo, M. and Robbiano, A. (2019). Land use and soil erosion vulnerability assessment by GIS application in coastal Mediterranean areas. *Journal of Maps*, 15(2), 1–11.

Bull, William B. (1977). *Tectonic geomorphology Of The Mojave Desert. U.S. geological survey contact report 14-08-001-G-394.* Office Of Earthquakes, Volcanoes And Engineering, Menlo Park, California, 188.

Bull, William B. and Mcfadden, L. (1977). *Tectonic geomorphology north and south of The Garlock Fault, California. In: Dohering, D.O. (Ed.),* Geomorphology İn Arid Regions, Publ. İn Geomorphology, State University Of New York, Binghamton, 115–138.

Buol, S. W., Southard, R. J., Graham, R. C. and McDaniel, P. A. (2011). *Soils: genesis and geomorphology* (2nd ed.). Wiley-Blackwell.

Burrough, P. A. and McDonnell, R. A. (1998). *Principles of geographical information systems* (2nd ed.). Oxford University Press.

Cas, R. A. F. and Wright, J. V. (1987). *Volcanic successions: modern and ancient*. Allen and Unwin.

Clarke, J. I. (1966). Morphometry from maps. In K. M. Clayton (Ed.), essays in geomorphology (pp. 235–274). *American Elsevier Publishing Company*.

Cutter, S. L., Boruff, B. J. and Shirley, W. L. (2003). *Social vulnerability to environmental hazards.* Social Science Quarterly, 84(2), 242–261.

Cürebal, İ. (2003). *Madra Çayı Havzası'nın uygulamalı jeomorfoloji etüdü.* İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, (Yayınlanmamış Doktora Tezi), İstanbul.

Cürebal, İ. ve Ekinci, D. (2006). Kızılkeçili Deresi Havzası'nda Cbs tabanlı Rusle(3d) yöntemiyle erozyon analizi. *Türk Coğrafya Dergisi*, 47, 115-130.

Cürebal İ., Efe R., Soykan A. ve Sönmez S. (2012). Üç boyutlu modelleme kullanılarak siltasyon miktarının ölçülmesi: Çaygören Barajı örneği, *UJES (2012) III. Ulusal Jeomorfoloji Sempozyumu*, Hatay.

Çullu, M.A. ve U. Dinç. (1994). Coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla şimdiki ve potansiyel toprak erozyon alanlarının belirlenmesi. *I. Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu,* K.T.Ü. Atatürk Kültür ve Sanat Merkezi 18-20 Ekim 1994, Trabzon. s. 188-195.

Darkot, B. ve Tuncel, M. (1981). *Marmara Bölgesi coğrafyası.* İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Yay. No: 118, İstanbul.

Davis, P.H. (1965). *Flora of Turkey,* Vol. 1., Edinburgh.

Deer, W. A., Howie, R. A. and Zussman, J. (1992). *An Introduction to the rock-forming minerals* (2nd ed.). Longman.

De Jong, S.M. (2006). *Derivation of vegetative variables from a Landsat TM Image for modelling soil erosion.* Earth Surface Processes and Landforms, 19(2):165-178.

De Vente, J. and Poesen, J. (2005). Predicting soil erosion and sediment yield at the basin scale: Scale issues and semi-quantitative models. *Earth-Science Reviews*, 71(1–2), 95–125.

Desmet, P. J. J. and Govers, G. (1996). A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. *Journal of Soil and Water Conservation*, 51(5), 427–433.

Dilek, Y., Moores, E., Elthon, D. and Nicolas, A. (2000). *Ophiolites and oceanic crust: new insights from field studies and the ocean drilling program*. Geological Society of America Special Paper, 349.

Doğan, O. (1987). *Türkiye yağışlarının erosiv potansiyelleri / erosive potentials of rainfalls in Turkey.* Tarım Orman ve Köyişleri Bakanlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara.

Doğan, O. ve N. Küçükçakar. (1997). *Güneybatı Akdeniz Kıyı Bölgesinde Eşen Havzası erozyon haritalama çalışması. Hava fotoğraflarının araziye uyarlanması ve bu bağlamda ayrımlı amaçlara yönelik toprak haritalama sistemleri,* Workshop:2, 12-14 Şubat, E.Ü.Z.F. Toprak Bölümü, Bornova, İzmir, s. 45-55.

Doneshfaraz, R., Rahmati, M. and Akbari Maghanjiq, P. (2016). *Soil erosion and sediment mapping in aidoghmoush watershed using mpsıac model and gıs and rs Technologies.* Environmental Resources Reserch, Vol: 5, No: 1, Iran.

Devlet Su İşleri (DSİ). (2015). *03. Susurluk Havzası, D03A024 Madra Çayı Ayaklı İstasyon akım verileri.* Balıkesir.

Efe, R. (1994). Biga Yarımadası'nda neotektoniğin jeomorfolojik izleri. *Türk Coğrafya Dergisi*, Sayı: 29, ss. 209 – 242, İstanbul.

Efe, R., Ekinci, D. ve Cürebal, İ. (2008a). Erosion analysis of Şahin Creek Watershed (NW of Turkey) using GIS based on RUSLE (3DWatershed). *Journal of Applied Science,* 8 (1): 49-58.

Efe, R., Ekinci, D. ve Cürebal, İ. (2008b). Erosion analysis of Fındıklı Creek catchment (NW of Turkey) using GIS based on RUSLE (3D) method. *Fresenius Environmental Bulletin*, 17 (2), 576-586.

Egeran, N. and Lahn, E. (1944). 1/2400000 mikyaslı Türkiye yer depremleri haritası hakkında muhtıra. *M.T.A. Enst. Mecmuası*, Sayı:2/32, s.270-289, Ankara.

Einsele, G. (2000). Sedimentary basins: evolution, facies, and sediment budget (2nd ed.). *Springer.*

Emre, Ö., Kazancı, N., Erkal, T., Karabıyıkoğlu, M. ve Kuşçu, İ. (1997). *Ulubat ve Manyas göllerinin oluşumu ve yerleşim tarihçesi, Güney Marmara'nın neojen ve kuvaterner'deki morfotektoniği.* Güney Marmara Bölgesi'nin Neojen ve Kuvaterner Evrimi Projesi. Proje No: YDABÇAG – 426 / 6, ss. 116 – 134, Ulusal Deniz Araştırmaları Programı ve Deniz Jeolojisi Projeleri, Ankara.

Ercan, T., Ergül, E., Akçören, F., Çetin, A., Granit, S. ve Asutay, J. (1990). Balıkesir – Bandırma arasının jeolojisi, Tersiyer volkanizmasının petrolojisi ve bölgesel yayılımı. *MTA Dergisi*, Sayı: 110, ss. 113 – 130. Ankara.

Erentöz, C. (1956). Türkiye jeolojisi üzerine genel bir bakış. *MTA Dergisi*, 48, 37-52.

Ergin, K., Güçlü, U. ve Uz, Z. (1967). *Türkiye ve civarının deprem kataloğu*. İ.T.Ü. Maden Fak., Arz Fiz. Kür. Yay., No:28, İstanbul.

Ergül, E., Akçören, F. ve Gözler, Z. (1986). *1/100.000 ölçekli açınsama nitelikli Türkiye jeoloji haritaları serisi Balıkesir.* MTA Ens. Balıkesir Bölge Müdürlüğü Arşivi, No: 499, Balıkesir – F6 Paftası.

Erinç, S. (1962). *Klimatoloji ve metotları*. İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Yayınları, No: 35, İstanbul.

Erinç, S. (1984). *Klimatoloji ve metotları.* İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri Coğrafya Enstitüsü, İstanbul.

Erinç, S. (2000). *Jeomorfoloji I* (Güncellestirenler: Ahmet ERTEK-Cem GÜNEYSU). İstanbul: Der Yayınları, No: 284.

Erkal, T. ve Taş, B. (2013). *Jeomorfoloji ve insan.* İstanbul: Yeditepe.

EVAAL (Erosion Vulnerability Assessment for Agricultural Lands), Nelson, T., Ruesch, A., Evans, D., Mazurek, D. and Kempen, S. (2014). *Methods documentation, version 1.0,* Wisconsin.

Evans, J.E. and D.E. Seamon. (1997). *A GIS model to calculate sediment yields from a small rural watershed, old woman Creek, Erie and Huron Counties,* Ohio. Ohio J. Sci., 97(3):44-52.

Fabri, K.P. (1991). *The use of geographic information systems and remote sensing analysis for the assessment of soil erosion hazard: A case study in Central Bolivia.* MSc. Thesis, International Institute for aerospace Surveys and Earth Sciences (ITC), Enschede, The Netherlands. 142 p.

FAO. (2019). *The state of the world's biodiversity for food and agriculture.* Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Ferro, V. (1991). Soil erosion risk assessment and the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). *Hydrological Sciences Journal*, 36(6), 643–658.

Fıçıcı, M. (2021). *Madra Barajı Havzası'nda erozyon analizi*. Balıkesir Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, Balıkesir.

Foster, G. R. and Wischmeier, W. H. (1974). *Evaluating irregular slopes for soil loss prediction. Transactions of the ASAE.* 17(2), 305–309.

Foster, G.R., Lane, L.J., Nowlin, J.D., Laflen, J.M. and Young, R.A. (1981). Estimating erosion and sediment yield on field sized areas. *Transactions of the ASAE*, 24(5), 1253–1262.

Galzki, J.C., Mulla, D.J. and Peters, C.J. (2015). *Mapping the potential of local food capacity in Southeastern Minnesota*. Renew. Agric. Food Syst., 30, 364–372.

Ganasri, B. P. and Ramesh, H. (2016). *Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS – A case study of Nethravathi Basin.* Geoscience Frontiers, 7(6), 953–961.

Goldman, S. J., Jackson, K. and Bursztynsky, T. A. (1986). *Erosion and sediment control handbook*. McGraw-Hill.

Goudie, A. (2004). *Encyclopedia of geomorphology* (Vol. 1). Routledge.

Görür, N., Çağatay, M. N., Sakınç, M., Sümengen, M., Şentürk, K., Yaltırak, C. ve Tchapalyga, A. (1997). *Marmara Denizi'nin oluşumu ve Neojen-Kuvaterner'deki evrimi*. Güney Marmara Bölgesi'nin Neojen ve Kuvaterner Evrimi Projesi, No: YDABÇAG-426/G, s. 1-21, Ulusal Deniz Araştırmaları Programı ve Deniz Jeolojisi Projeleri, Ankara.

Görür, A. ve Karadeniz, C. (2018). Morfometrik parametrelerin havza hidrolojisi bakımından değerlendirilmesi. *Turkish Journal of Forestry* | Türkiye Ormancılık Dergisi, 19(4), 447–454.

Graham, L. E., Graham, J. M. and Wilcox, L. W. (2009). *Algae* (2nd ed.). Benjamin Cummings.

Gravelius, H. (1914) *Grundrifi der gesamten Gewcisserkunde. Band I: Flufikunde* (Compendium of Hydrology, Vol. I. Rivers, in German). Goschen, Berlin.

Guilbert, J. M. and Park, C. F. (1986). *The geology of ore deposits*. Waveland Press.

Gülüm, K. (2001). *Kocaçay Havzası'nın yukarı kesiminin jeomorfolojisi (İvrindi – Balıkesir).* Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

Gülüm, K. (2010). *İvrindi Ovası ve yakın çevresinin jeomorfolojisi.* Adıyaman Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 5 (10): 302 – 317.

Güney, E. (2003). *Yerbilim terimleri sözlüğü (Mineroloji, petrografi, jeoloji, jeomorfoloji).* Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.

Hadley, R. F. and Lusby, G. C. (1967). *Runoff and hillslope erosion resulting from a high-intensy thunderstorm near mack*. Western Colorado. Water Resources Research, 139-143.

Hamerlynck, O., et al. (2000). Regional applications of erosion models in Mediterranean environments. *Journal of Mediterranean Ecology*, 1(2), 67–78.

Hancock, G.R., Crawter, D., Fityus, S.G., Chandler, J. and Wells, T. (2008). *The measurement and modelling of rill erosion at angle of repose slope in mine spoil*, Earth Surface Processes and Landform, 33, 1006-1020.

Hare, P.W. and Gardner, T.W. (1985) *Geomorphic indicators of vertical neotectonism along converging plate margins, Nicoya Peninsula Costa Rica. In: Morisawa, M. and Hack, J.T., Eds., Tectonic geomorphology.* Proceedings of the 15th Annual Binghamton Geomorphology Symposium, Allen and Unwin, Boston, 123-134.

Horton, R. (1932) *Drainage basin characteristics. transactions, American geophysical union,* 13, 350-361.- References - Scientific Research Publishing.

Horton, R. (1945) Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin,* 56 (3), 275-370.- References- Scientific Research Publishing.

Hoşgören, M.Y. (1983). *Akhisar Havzası jeomorfolojik ve tatbikî jeomorfolojik etüt*. İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Matbaası: İstanbul.

Huggett, R. J. (2007). *Fundamentals of geomorphology* (2nd ed.). Routledge.

Ilanloo, M. (2012). Estimation of soil erosion rates using MPSIAC models (Case study Gamasiab basin). *International Journal of Agricultural and Crop Sciences*, vol:4, p: 1154-1158, Iran.

Ilgar, R. (2023). *Doğal afetler ve afet yönetimi (EMDAT Kriterlerine Göre).* Paradigma Akademi, Çanakkale.

IPCC. (2014). *Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability.* Cambridge University Press.

İrvem, A. ve Tülücü, K., 2004. Coğrafi bilgi sistemi ile toprak kaybı ve sediment verimi tahmin modelinin (EST) oluşturulması ve Seyhan-Körkün Alt Havzasına uygulanması. *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* No: 13.

Johnson C.W. and Gebhardt K.A (1982) *Predicting sediment yield from sagebrush rangelands, in: Proceeding of workshop on estimating erosion and sediment yield on rangelands, Tucson,* AZ. Department of Agriculture, Agricultural Reviews and Manuals, Western Series, vol 26, pp 145–156.

Kaaden, V. D. G. (1959). Anadolu'nun kuzeybatı kısmında yer alan metamorfik olaylarla magmatik faaliyetler arasındaki yaş münasebetleri. *MTA Dergisi*. 52, 15-34.

Keller, E. A. and Pinter, N. (2002). *Active tectonics: earthquakes, uplift, and landscape* (2nd ed.). Prentice Hall.

Ketin, İ. (1959). Türkiye'nin orojenik gelişmesi. *MTA Dergisi*. 53, 79-84.

Ketin, İ. (1983). *Türkiye jeolojisine genel bir bakış.* İ.T.Ü. Vakfı, Yayın No:32, İstanbul.

Kızılelma, Y. ve Karabulut, M. (2014). Mut Havzasında erozyona duyarlı alanların belirlenmesi. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 7(31): 439-456.

Kirkby, M. J. and Morgan, R. P. C. (1980). *Soil erosion*. John Wiley and Sons.

Koç, T. (2000). Balya çevresinin (Balıkesir) jeomorfolojisi. *Türk Coğrafya Dergisi*, Sayı: 35, ss. 203 – 221.

Köse, A. (1997). *İvrindi ve çevresinin coğrafi etüdü.* Atatürk Üniversitesi Yay. No: 837, KKEF Yay. No: 76, Araştırma Serisi No: 17, Erzurum.

Lahn, E. (1945). Anadolu'da neojen ve dördüncü zaman volkanizması. *Türk Coğrafya Dergisi,* Sayı: 7 – 8, ss. 37 – 49.

Lahn, E. (1949). Türkiye yer depremleri ile tektonik arasındaki münasebetler hakkında. *Türk Coğrafya Derg*., Sayı:11-12, s.95-101, Ankara.

Leeder, M. R. (2011). *Sedimentology and sedimentary basins: from turbulence to tectonics* (2nd ed.). Wiley-Blackwell.

Loeblich, A. R. and Tappan, H. (1987). *Foraminiferal genera and their classification.* Van Nostrand Reinhold.

MacKenzie, W. S., Donaldson, C. H. and Guilford, C. (1982). *Atlas of Igneous Rocks and their textures.* Longman.

Mayer, L. (1990). *Introduction to quantitative geomorphology*. Englewood Cliffs, New Jersey, NJ: Prantice-Hall International.

Melton, M. A. (1957). *An analysis of the relations among elements of climate, surface properties, and geomorphology* (Technical Report No. 11). Columbia University, Department of Geology, Office of Naval Research.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü (2022). *İvrindi uzun yıllar tüm parametreler bülteni* 2014-2022.

Montgomery, D. C., Peck, E. A. and Vining, G. G. (2012). *Introduction to linear regression analysis* (5th ed.). Wiley.

Moore, I. D. and Burch, G. J. (1986). Physical basis of the length-slope factor in the Universal Soil Loss Equation. *Soil Science Society of America Journal*, 50(5), 1294–1298.

Moore, I. D., Grayson, R. B. and Ladson, A. R. (1991). *Digital terrain modelling: A review of hydrological, geomorphological and biological applications.* Hydrological Processes, 5(1), 3–30.

Morgan, R. P. C. (2005). *Soil erosion and conservation* (3rd ed.). Blackwell Publishing.

Morris, G. L. and Fan, J. (1998). *Reservoir sedimentation handbook: Design and management of dams, reservoirs, and watersheds for sustainable use.* McGraw-Hill.

Mutlu, Y. E. ve Soykan, A., (2018). RUSLE (3D) modeli kullanılarak toprak erozyonu tahmini: Havran Çayı örneği. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, 2018 (1): 50 – 66.

Najm, Z., Kayhani, N., Rezai, K., Nazmi Nezamebed, A. and Hamid Vaziri, S. (2013). *Sediment yield and soil erosion assessment by using an empirical model of MPSIAC for Afjeh and Lavarek sub-watersheds.* Earth Science, vol: 2, No: 1, pp: 14-22, Iran.

Nesse, W. D. (2012). *Introduction to optical mineralogy* (4th ed.). Oxford University Press.

Nichols, G. (2009). *Sedimentology and stratigraphy* (2nd ed.). Wiley-Blackwell.

Okay, I. A. ve Göncüoğlu, C. M. (2004). The Karakaya complex: a rewiew of data and concepts. *Turkish Journal of Earth Sciences*. 13, 77-95.

Orman Genel Müdürlüğü. (2023a). *Balıkesir ili İvrindi ilçesi Değirmenbaşı Köyü Yukarı Havzası sel ve erozyon kontrol uygulama projesi.* Tarım ve Orman Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü, Balıkesir Orman Bölge Müdürlüğü.

Orman Genel Müdürlüğü. (2023b). *Balıkesir ili İvrindi ilçesi Küçükılıca köyü yukarı havzası sel ve erozyon kontrol uygulama projesi.* Tarım ve Orman Bakanlığı Yayını.

Özdemir, H. (2011). *Havza morfometrisi ve taşkınlar*. İstanbul Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Fiziki Coğrafya Anabilim Dalı, March.

Özgül, N. (1969). *Balya kuzeyinin jeolojik incelemesi.* MTA Rapor No: 497, Balıkesir.

Özsahin, E., 2008. Keçidere (Gönen Çayı'nın bir kolu) havzasının hidrografik özelliklerine sayısal yaklaşım. *Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi,* 5 (10): 301-317.

Özşahin, E. (2014). Tekirdağ ilinde CBS tabanlı RUSLE modeli kullanarak erozyon risk değerlendirmesi. *JOTAF / Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 11 (3):45-56.

Özşahin, E., (2015). Hoşköy Deresi Havzası'nın (Tekirdağ) jeomorfometrik özellikleri, *International Journal of Social Science*, Number:33, P. 99-120.

Özşahin, E. (2016a). Ergene Havzasında (Trakya) arazi kullanımı ve arazi örtüsü değişikliklerinin erozyon üzerine etkileri. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 31:117-126.

Özşahin, E. (2016b). Alakır Çayı Havzası'nda (Antalya) toprak kaybının mekânsal dağılışı ve etkili faktörler. *JOTAF / Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 13 (2):123-134.

Özşahin, E. (2016c). Çok şiddetli erozyon probleminin değerlendirilmesine yönelik pilot bir çalışma: Kavakdere Havzası (Trakya Yarımadası) örneği. *International Journal of Eurasia Social Sciences*, 7 (2):100-119.

Özşahin, E., Duru, Ü., Eroğlu, İ. (2018). *Land use and land cover changes (LULCC)*, a Key to Understand Soil Erosion Intensities in the Maritsa Basin. Water, 10:335.

Özşahin, E., Eroğlu, İ., Yıldız, H. (2019). *GIS based erosion studies in Turkey. proceedings of international Balkan and Near Eastern Social Sciences Congress Series- Tekirdağ / Turkey,* March 09-10, 2019 / Ed. Dimitar Kirilov Dimitrov, Dimitar Nikoloski, Rasim Yılmaz, pp.: 1251-1253.

Özşahin, E. (2021). Baraj rezervuarındaki alansal ve hacimsel değişikliklerin zamansal ve mekânsal ölçekte karşılaştırması: Naip Barajı örneği (Tekirdağ/Türkiye). *III. Uluslararası Coğrafya Eğitimi Kongresi Tam Metin Bildiriler Kitabı (UCEK – 2021),* Editör: Prof. Dr. Hakan Koç, s.: 603-613, 14-17 Ekim 2021, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Türkiye.

Özşahin, E. (2023). Karşılaştırmalı erozyon tahmin modellerine göre akarsu sedimantasyon miktarının belirlenmesine bir örnek: Naip Barajı Havzası (Tekirdağ, Türkiye) / An example for determining river sedimentation amount based on comparative erosion prediction models: The Naip Dam Basin (Tekirdağ, Türkiye), *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi / Journal of Geomorphological Researches* 2023 (10): 1-19.

Öztürk, N. 1995. *Coğrafi Bilgi Sistemi (GIS) ve sayısal uydu verilerinin detaylı toprak etütlerinde kullanma olanakları.* (Doktora Tezi) Ç.Ü. Fen Bilimleri Enst. Toprak Anabilim Dalı, Adana. 106 s.

Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., Alewell, C., Lugato, E. and Montanarella, L. (2014). *Estimating the soil erosion cover-management factor at the European scale.* Land Use Policy, 48, 38–50.

Patton, P. (1988) Drainage Basin Morphometry and Floods. In Baker, V., Kochel, R. and Patton, P., Eds., Flood geomorphology, Wiley, New York, 51-65.- References- *Scientific Research Publishing*.

Peppler, M.C. and Fitzpatrick, F.A. (2004). *Methods for monitoring the effects ff grazing management fn bank erosion and channel morphology, Fever River, Pionner Farm, Wisconsin.*

Pike, R. J. and Wilson, S. E. (1971). Elevation-relief ratio, hypsometric integral and geomorphic area-altitude analysis. *Geological Society of America Bulletin*, 82, 1079–1083.

PSIAC- Pacific Southwest Inter Agency Committee, (1968). *Factors affecting sediment yield in the Pacific Southwest Area and selection and evaluation of measures for reduction of erosion and sediment yield.* Water Management Subcommitte on American Society of Civil Engineers (ASCE), Report No. HY 12.

Reading, H. G. (1996). *Sedimentary environments: processes, facies and stratigraphy* (3rd ed.). Blackwell Science.

Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., McCool, D. K. and Yoder, D. C. (1997). *Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)* (Agriculture Handbook No. 703). USDA.

Riding, R. (2000). *Microbial carbonates: the geological record of calcified bacterial–algal mats and biofilms.* Sedimentology, 47(s1), 179–214.

Saraçoğlu, H. (1990). *Bitki örtüsü akarsular ve göller.* Millî Eğitim Bakanlığı Yayınları Öğretmen Kitapları Dizisi: 177, ss. 142, İstanbul.

Saynor, M.H., Erskine, W.D. and Evans, K.G. (2003). *Bank erosion in The Nggarradj Catchment: Result oferosion pin measurements between 1998 and 2001*. Supervising Scientist Report 176, Supervising Scientist, Darwin NT.

Scheidegger, A. E. (1961). *Theoretical geomorphology*, Berlin: Göttingen, Heidelberg. Springer-Verlag.

Schreiber, F. (1912). *Über die Beziehungen zwischen Niederschlagsmenge und Abflussmenge in Mitteleuropa*. Meteorologische Zeitschrift, 29, 441–452.

Schumm, S. (1956). Evolution of drainage systems and slopes in badland at perth amboy, New Jersey. *Bulletin of Geological Society of America*, 67, 597-646.

Selby, M. J. (1993). *Hillslope materials and processes* (2nd ed.). Oxford University Press.

Smith, K. G. (1950). Standards for grading texture of erosional topography. *American Journal of Science,* 248(9), 655–668.

Soykan, A. (1991). *Kepsut – Susurluk Kuzeyi arasında Susurluk Çayı Vadisi'nin jeomorfolojisi.* İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Soykan, A. (1993). *Sındırgı ve Bigadiç Depresyonları ile yakın çevresinin jeomorfolojisi.* İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü. Doktora Tezi, İstanbul.

Strahler, A. N. (1952a). Dynamic basis of geomorphology. *Geological Society of America Bulletin,* 63(9), 923–938.

Strahler, A. N. (1952b). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin*, 63(11), 1117–1142.

Strahler, A. N. (1958). Dimensional analysis applied to fluvially eroded landforms. *Geological Society of America Bulletin,* 69(3), 279–300.

Strahler, A. (1964) *Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks.* In Chow, V., Ed., Handbook of Applied Hydrology, McGraw Hill, New York, 439-476. - References - Scientific Research Publishing.

Strahler, A. N. and Strahler, A. H. (1992). *Modern physical geography* (4th ed.). John Wiley and Sons.

Summerfield, M. A. (1991). *Global geomorphology.* Longman Scientific and Technical. London.

Sür, Ö. (1972). *Türkiye'nin özellikle İç Anadolu'nun genç volkanik alanlarının jeomorfolojisi.* Ankara Üniversitesi DTCF Yay. No: 1223, Ankara.

Sür, Ö. (1994). Türkiye'de volkanizma olayları ve volkanik yer şekilleri. *Türkiye Coğr. Araş. Uyg. Merk. Derg*., Sayı:3, s.29-52, Ankara.

Şengör, A. M. C. (1980). *Türkiye neotektoniğinin esasları*. TJK Konferansları Dizisi, No: 2, Ankara.

Tarhan, F. (2002). *Mühendislik jeolojisi prensipleri* (3. baskı). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Trabzon.

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, (2022). *İvrindi uzun yıllar tüm parametreler bülteni 2014-2022,* Balıkesir.

Tellioğlu, S. (2001). *Manyas Gölü ve yakın çevresinin jeomorfolojisi ve uygulamalı jeomorfolojisi.* Yayınlanmamış Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Topraksu, (1979). *Ege Havzası toprakları*. Topraksu Gen. Müd. Yay., No:308, Ankara.

Tricart, J. and Cailleux, A. (1972). *Introduction to climatic geomorphology*. Longman.

Tucker, M. E. (2001). *Sedimentary petrology: an introduction to the origin of sedimentary rocks* (3rd ed.). Blackwell Science.

Ulusay, R. (2010). *Uygulamalı jeoteknik bilgiler* (Güncelleştirilmiş, Genişletilmiş 5. Baskı). TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları: 38, Ankara.

UNDRR. (2019). *Global assessment report on disaster risk reduction.* United Nations Office for Disaster Risk Reduction.

UNDRR. (2020). *UNDRR terminology on disaster risk reduction.* United Nations Office for Disaster Risk Reduction.

Uzun, N. (2003). *Balıkesir Ovası – Kocaçay – Manyas Ovası ve Susurluk Çayı arasında kalan sahanın jeomorfolojisi.* Yayınlanmamış Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Ürgün, S. (1972). *Jeotermik enerji sağlanması amacı ile Susurluk – Manyas – Bandırma (Balıkesir) ile Karacabey – M. Kemal Paşa (Bursa) arasında kalan sahanın incelenmesi.* Ankara.

Vanoni V.A. (1975) *Sedimentation engineering practice*. American Society of Civil Engineers, Manuals and Reports on Engineering Practice, No. 54, 745 p.

Walling, D. E. (1983). The sediment delivery problem. *Journal of Hydrology*, 65(1–3), 209–237.

Ward, R. C. and Robinson, M. (2000). *Principles of hydrology* (4th ed.). McGraw-Hill.

Williams, J. R. (1977). *Sediment-yield prediction with universal equation using runoff energy factor. In Present and prospective technology for predicting sediment yields and sources* (pp. 244–252). USDA-ARS.

Wischmeier, W. H. and Smith, D. D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning* (Agriculture Handbook No. 537). U.S. Department of Agriculture.

Yalçınlar, İ. (1970). Batı Anadolu'nun strüktür ve relief şekilleri üzerine müşahedeler. *İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Dergisi,* Cilt: 9, Sayı: 17, ss. 69 – 92.

Yardley, B. W. D. (1989). *An introduction to metamorphic petrology*. Longman Earth Science Series.

Yu, B. and C.J. Rosewell. (1996a). An assessment of a daily erosivity model for New South Wales. *Australian Journal of Soil Research*, 34(1):139-152.

Yu, B. and C.J. Rosewell. (1996b). Rainfall erosivity estimation using daily rainfall amounts for South Australia. *Australian Journal of Soil Research*, 34(5):721-733.

Zavoianu, I., (1985). Morphometry of drainage basins. Developments in Water Science, *Elsevier.*

http-1: https://www.tutasteyapi.com/portfolio/ardictepe-baraji/ (Erişim tarihi: 10.06.2025).

http-2: https://www.korfezdehaber.com/adil-vekil-durmuyor-ciftciyi-serinleten-sulama-ardictepe-de/109623 (Erişim tarihi: 10.06.2025).